

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-338631

(43) 公開日 平成4年(1992)11月25日

|                           |      |         |                |         |
|---------------------------|------|---------|----------------|---------|
| (51) Int.Cl. <sup>3</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号  | F I            | 技術表示箇所  |
| H 0 1 L 21/20             |      | 9171-4M |                |         |
| 21/208                    | M    | 7353-4M |                |         |
| 29/784                    |      | 9056-4M | H 0 1 L 29/ 78 | 3 1 1 F |

審査請求 未請求 請求項の数7 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平3-139814

(22) 出願日 平成3年(1991)5月15日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(71) 出願人 000115706

リコー応用電子研究所株式会社

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の  
10

(72) 発明者 佐藤 幸人

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の  
10 リコー応用電子研究所株式会社内

(74) 代理人 弁理士 友松 英爾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜半導体装置とその製法

(57) 【要約】

【目的】 従来薄膜半導体装置において、半導体層が特定領域毎に結晶配向面が異なったものや結晶状態が異なったものを設けるという着想は存在していなかった。本発明は、この新しい着想の実現にある。

【構成】 絶縁性基板上に半導体層を有する薄膜半導体装置において、半導体層が特定領域毎に異なった結晶配向面をもつ領域および/または異なった結晶領域より構成されている。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁性基板上に半導体層を有する薄膜半導体装置において、前記半導体層が異った結晶状態の領域および／または異った結晶配向面をもつ領域よりなることを特徴とする薄膜半導体装置。

【請求項2】 前記半導体層が単結晶よりなり、かつその結晶配向面が(100)面をもつ領域と(111)面をもつ領域よりなる請求項1記載の薄膜半導体装置。

【請求項3】 前記単結晶よりなる半導体層が帯状または島状に形成されている請求項2記載の薄膜半導体装置。

【請求項4】 前記半導体層が、単結晶領域と多結晶領域とからなる請求項1記載の薄膜半導体装置。

【請求項5】 前記半導体層が、単結晶領域と非晶質領域とからなる請求項1記載の薄膜半導体装置。

【請求項6】 前記単結晶領域が、(100)配向領域、(111)配向領域および(100)配向領域と(111)配向領域からなる請求項4または5記載の薄膜半導体装置。

【請求項7】 絶縁性基板上に形成された非晶質または多結晶半導体層に帯域熔融再結晶化法を適用して単結晶層に変換することにより、薄膜半導体装置を製造する方法において、前記帯域熔融再結晶化の加熱手段として半導体層に吸収されるレーザ光と絶縁性基板に吸収されるレーザ光を併用して同時に照射することを特徴とする薄膜半導体装置の製法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】本発明は、薄膜半導体装置の製法とそれを用いて得られた新しいタイプの薄膜半導体装置に関する。

【0002】

【従来技術】絶縁性基板上に単結晶シリコン薄膜を形成する手法、いわゆるSOI形成法については従来より数多く提案されている。これらの多くは絶縁性基板上に非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜を形成し、この非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜を種々の熱源により一度熔融状態とし、その後冷却固化再結晶化させ、単結晶化とするものである。この場合の熱源としては、レーザ光、電子ビーム、種々のランプ光、ワイヤー状のカーボンヒーター等がある。このような従来の熔融再結晶化法を用いたSOI形成法によって得られる単結晶シリコンの結晶配向面（基板表面に現われるシリコンの結晶面）は、熔融再結晶化時に種結晶を用いる場合にはその種結晶の配向面により決定される。前記の絶縁性基板が、シリコンウエハー上にシリコン酸化膜あるいは種々の成膜手法により絶縁膜が形成されているような構成の基板の場合には種結晶としては、この基板上に非晶質あるいは多結晶シリコンを形成する前にウエハー上の絶縁膜層に穴を明け、この穴をおおように非晶質あるいは多結晶シリコンを形成し、前述の熔融再結晶化をこの穴の上部から

行なうことにより、ウエハーの一部を種結晶として使用できる。しかしながら前記の絶縁性基板が、石英ガラス等のいわゆる無定形基板の場合、上述の手法による再結晶膜の配向面の制御はできない。石英ガラス基板上で、多結晶シリコン膜を形成し、この上に表面保護層として酸化シリコン膜を形成し、石英ガラス基板と酸化シリコン膜にはさまれた多結晶シリコン層を外部から供給する熱により帯状に熔融し、再結晶化させた場合には(100)面配向をした単結晶シリコン薄膜が得られることが知られている。この手法は帯域熔融再結晶化法（Zone Melting Recrystallization、すなわちZMR法）と呼ばれており、種結晶を用いないSOI形成法として知られている。さらには無定形基板上に種々の方法により核形成密度が高い場所を形成し、基板上での核形成密度の差を利用しこの上に選択的に単結晶シリコンを成長させる方法も提案されている。これらのSOI形成手法において絶縁性基板上に形成する単結晶シリコンの結晶配向面は、種結晶を用いる場合には、その種結晶の結晶面で定められてしまう。また上述のZMR法では(100)面以外の結晶配向面は安定に得られないのが現状である。そのため、このような薄膜半導体部材を原料として半導体素子を形成した場合、その特性は用いた薄膜半導体部材の結晶配向面で定まり、半導体素子に適した結晶配向面を選択すること、さらには、より高性能な半導体素子を形成するために同一基板内で異なる配向性を持つSOI膜を得ること等は極めて困難であった。このように従来の熔融再結晶化法を用いたSOI形成法によって得られた単結晶シリコン薄膜は、基板全面、あるいは比較的広い領域にわたって連続的に存在しており、その薄膜半導体材料としての利用法は、TFTの活性層としてデバイスの駆動部に利用するなど限られたものであった。ましてや、同一基板内に多結晶シリコンや非晶質シリコン層をもつものを製造することは容易なことではなかった。たとえば、同一基板内に非晶質シリコンを利用してセンサ部を形成しようとする場合、フォトリソグラフィにより必要とする領域の単結晶シリコン薄膜をエッチング除去し、残った単結晶シリコン薄膜部をマスクした状態で、非晶質シリコンをCVD法等の手法により堆積させるといった、単結晶薄膜を形成するプロセスに加えて新たに非晶質シリコンを形成するプロセスを行う必要があった。

【0003】

【目的】本発明の第1の目的は、帯域熔融再結晶化法によりSOIを製造するための新しい方法を提供する点にある。本発明の第2の目的は、SOIにおける半導体層が異った結晶状態の領域および／または異った結晶配向面をもつ領域よりなる新しいタイプの多目的用途に使用できる薄膜半導体装置を提供する点にある。

【0004】

【構成】本発明の第1は、絶縁性基板上に半導体層を有

する薄膜半導体装置において、前記半導体層が異った結晶状態の領域および／または異った結晶配向面をもつ領域よりなることを特徴とする薄膜半導体装置に関する。本発明の第2は、前記半導体層が単結晶よりなり、かつその結晶配向面が(100)面をもつ領域と(111)面をもつ領域よりなる請求項1記載の薄膜半導体装置に関する。本発明の第3は、前記単結晶よりなる半導体層が帯状または島状に形成されている請求項2記載の薄膜半導体装置に関する。本発明の第4は、前記半導体層が、単結晶領域と多結晶領域とからなる請求項1記載の薄膜半導体装置に関する。本発明の第5は、前記半導体層が、単結晶領域と非晶質領域とからなる請求項1記載の薄膜半導体装置に関する。とくに非晶質領域の水素含有量は1at

om%以下であることが好ましい。本発明の第6は、前記単結晶領域が、(100)配向領域、(111)配向領域および(100)配向領域と(111)配向領域からなる請求項4または5記載の薄膜半導体装置に関する。本発明の第7は、絶縁性基板上に形成された非晶質または多結晶半導体層に帯域熔融再結晶化法を適用して単結晶層に変換することにより、薄膜半導体装置を製造する方法において、前記帯域熔融再結晶化の加熱手段として半導体層に吸収されるレーザ光と絶縁性基板に吸収されるレーザ光を併用して同時に照射することを特徴とする薄膜半導体装置の製法に関する。

【0005】以下、本発明の半導体薄膜層としては、シリコンについて詳述するが、本発明はシリコンに限らず、周期率IV族、III-V族、II-VI族の単体、あるいは化合物半導体であって、その結晶構造がダイヤモンド構造、あるいはジंकブレンド構造を持つすべての材料に適用可能であり、具体的には、Siの他Ge, SiC, BN, BP, BAs, AlP, AlSb, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, CdHg等である。

【0006】本発明に開示される薄膜半導体装置の製法は絶縁性基板上に帯域熔融再結晶化法で単結晶シリコン薄膜を形成する場合にシリコンに吸収されるレーザ光と絶縁性基板に吸収されるレーザ光を同時に照射してシリコンを熔融して再結晶させることに特徴がある。さらには二つのレーザ光を照射してシリコン層を熔融再結晶化させるときに二つのレーザ光の出力、ビーム形状、照射位置等の照射条件を変えてシリコン層の熔融再結晶化領域の温度プロファイルを制御して得られる単結晶シリコンの結晶配向性を(100)面あるいは(111)面に制御することに特徴がある。

【0007】絶縁性基板上に形成された非晶質あるいは多結晶シリコンの熔融再結晶化法による単結晶シリコンの形成の様子については以下のように説明できる。種々の熱源により絶縁性基板上に形成された非晶質あるいは多結晶シリコンを加熱熔融し（シリコンの融点1412

℃）、その加熱箇所をシリコン層上で相対的に走査した場合、熔融したシリコンはその熱源の移動に伴い冷却固化し、再結晶化する。この時加熱により熔融している部分の温度分布が図1に示すごとく中央部が高く周辺部が低くなっている状況では熔融シリコンの再結晶化は熔融部の周辺から多数同時に開始し、その結果再結晶化シリコンは多結晶体となってしまう。そのような多結晶化を防いで再結晶化を行なうためには、熔融領域における温度プロファイル（本発明の中で述べられる温度プロファイルとはシリコンの熔融再結晶化過程、即ち加熱、熔融、冷却、固化の一連の現象における温度の変化を表わし、具体的には前記の一つあるいは複数の状態における温度、あるいは温度を表わす物理量を計測することで表わされる。）を中央部が周辺より低い状態にすれば良いことが知られている。こうすることにより図2に示すごとく再結晶化は常に中央部より始まることになり、再結晶化シリコンは単結晶として得られることになる。これらの加熱源としてはレーザ光が主に用いられ、熱源の走査速度は概ね数10cm/sec程度である。さらに絶縁性基板上で熔融再結晶化法により単結晶シリコン薄膜を形成するもう一つの方法としては帯域熔融再結晶化法（Zone Melting Recrystallization）がある。この方法に単結晶シリコンの形成の様子は以下のように述べられている。図3にその概略を示したが熔融再結晶化を行なうシリコン層を帯状に加熱熔融するとき、帯状に熔融している領域8以外のシリコン層はシリコンの融点近傍の温度まで加熱しておいて、その熔融領域を移動させることによりシリコンを固化再結晶させて単結晶シリコンを得るものである。この時熔融シリコンの凝固の固液界面には図4に示すようにシリコンの融点1412℃を過ぎても液体の状態を保っている過冷却状態の領域が存在し、シリコンの再結晶化の固液界面はこの過冷却領域の中でシリコンの結晶面の中で一番成長が遅い（111）面のファセット（小さな結晶面）の集まりにより形成されるといわれている。単結晶シリコンの形成は帯状の熔融領域8の移動に伴い、過冷却領域が移動しこの過冷却領域の中でシリコンの（111）面で構成されるファセット面が連続的に成長することによりなされるものである。この帯状の熔融領域を形成する手法としては基板上に近接して置かれた線状のカーボンヒータで加熱する方法、あるいはRF誘導加熱法等がある。この手法における帯状の熔融領域の移動速度は概ね数mm/sec程度であり、再結晶化の固液界面においては熱平衡に近い状態が実現されていることがこの手法の特徴であるといえる。このような帯域熔融再結晶化法により形成された再結晶単結晶シリコン薄膜で絶縁性基板が石英ガラスで（あるいはSiO<sub>2</sub>層）、かつ再結晶化時の表面保護膜として熱CVDで形成したSiO<sub>2</sub>の場合には種結晶を使用しないのにもかかわらず再結晶化膜の結晶配向面は（100）面であることが知られている。

【0008】本発明者らはこの帯域熔融再結晶化法に着目し、従来の加熱法とは異なった機能を持った加熱手段を用いた帯域熔融再結晶化法を発明した。その結果、本発明方法を用いて従来の帯域熔融再結晶化法においては困難であった、得られる再結晶化単結晶シリコン膜の配向面を(100)面あるいは(111)面に制御することを可能ならしめたものである。本発明の技術的背景について述べる。本発明においては加熱源としてシリコンに吸収されるレーザ光（以下第1のレーザ光）と絶縁性基板上に吸収されるレーザ光（以下第2のレーザ光）の2種類のレーザ光を用いている。これはこれらのレーザ光が絶縁\*

\*性基板上に帯域熔融再結晶化法で単結晶シリコンを形成一するのに極めて適した熱源であることによる。最初に帯域熔融再結晶化法においてレーザ加熱法が他の加熱法に比べて有利な点について述べる。図20は従来法による帯域熔融再結晶化で加熱源として一般的に使用される線状のヒータによる加熱の様子を示したものである。シリコンの溶融点に近い温度領域においては熱源の線状ヒータからの加熱は輻射加熱が主体であり、このような場合基板上の任意の点の熱源から受ける熱量は下記の式(1)により算出される。

【数1】

$$Q_{1 \rightarrow 2} \propto \int_{A_1} \int_{A_2} \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{1}{L^2} dA_1 dA_2 \dots \dots (1)$$

$Q_{1 \rightarrow 2}$ は、基板上の任意の点が熱源から受ける熱量

$L$ は熱源と半導体層をもつ基板との距離

$A_1$ は線状ヒータの熱源となる面積

$A_2$ は加熱を受ける半導体層の面積

$dA_1$ は $A_1$ における微少領域

$dA_2$ は $A_2$ における微少領域

$\phi_1$ は $dA_1$ が $dA_2$ を見込む角度

$\phi_2$ は $dA_2$ が $dA_1$ を見込む角度

式(1)の記述からも明らかなように熱源と基板との距離が2乗の重みで影響する。即ち輻射加熱により帯域熔融再結晶を安定に行なうための温度プロファイルを実現する場合には熱源と基板との距離を精緻にコントロールしなければならない。この熱源に対する要求は線状ヒータの場合に留まらず、他の熱源の場合でもその加熱の様式が輻射加熱による限り必然的なものである。これに対して加熱源をレーザ光とする場合には熱の発生はレーザ光の吸収によりなされるので、基板上の温度プロファイルが基板とレーザ光源との距離に影響を受けず、またレーザ光の優れた平行性を考慮するならば光源を任意の位置から基板上まで導くことが可能である。また従来の加熱法を用いた帯域熔融再結晶化法では再結晶化の固液界面において過冷却領域を形成する必要から冷却速度を小さくしなければならない。従って固液界面の熱勾配を小さくするために基板全体をシリコンの融点近傍まで加熱する必要があった。そのために帯域熔融再結晶化を行なった後の基板は長時間にわたる高温の加熱のため熱変形を引き起こすことがしばしばあった。また加熱装置が大型になり、あるいは装置上の制約から基板の寸法が制約される場合もある。これに対してレーザ光を熱源とする場合にはレーザ光が他の加熱法に比べて十分に高いエネルギー密度を持っているために、レーザ照射領域は周囲への熱の逃げに抗して、十分に高い温度に保つことが可能である。よって基板全体をシリコンの融点近傍まで

高温に加熱する必要はなく、従来の帯域熔融再結晶化法に見られた高温加熱による基板の変形の問題はなく、また基板加熱のための装置上の制限もない。以上のようなレーザ光を加熱源とする場合の特徴に加え、レーザ光はレンズ、ミラーといった種々の光学部品の組合せによりその大きさを任意に変えることができ、また任意の場所に導くことができるので従来の加熱法では実現が困難であった基板内の一部分のみを選択的に帯域熔融再結晶化のプロセスを行なうことが可能である。更には材料へのレーザ光の吸収は概ね材料の表面より数10 $\mu$ mの深さで留まるのでレーザを加熱源とする場合には基板のごく表面のみを加熱しているのに過ぎない。このことにより基板表面に適切な耐熱層を形成することにより従来の帯域熔融再結晶化法では実現できなかったシリコンの融点より低い融点あるいは軟化点を持つ基板を支持体基板として使用することも可能である。

【0009】本発明は以上のような帯域熔融再結晶化においてレーザ光を加熱源とすることの利点に加えて上述の2種類のレーザ光を使用したことから新たな特徴を有している。図8に本発明が開示するような方法による帯域熔融再結晶化の様子を示した。絶縁性基板1上に形成されたシリコン層（半導体層）2に上述の第1のレーザ光4および第2のレーザ光5を同時に照射すると第1のレーザ光4はシリコン層2で吸収されここで発熱が生ずる。また第2のレーザ光5は基板1内で吸収され発熱を

生ずる。即ちシリコン層2は第2のレーザ光5による予備加熱を受けた状態で第1のレーザ光4により加熱されることになる。この時の2種類のレーザ光での加熱領域の温度プロファイルは図9に示すように第2のレーザ光のビーム径( $\alpha_2$ )を大きく、第1のレーザビーム径( $\alpha_1$ )を狭くし、2種類のレーザ光の出力を最適化することによりシリコンの熔融領域を形成することができる。このような温度プロファイルはレーザ光で加熱される領域においては先の図3に示したような帯域熔融再結晶化を実現する温度プロファイルと本質的に同じであり、このような温度プロファイルを保持しつつビームを基板と相対的に走査することにより前述の帯域熔融再結晶化のメカニズムにより再結晶化単結晶シリコンが得られる。さらに本手法では第1のレーザ光の照射による熱の発生はシリコン薄膜層内で起こり、第2のレーザ光の照射による熱の発生は絶縁性基板内で起こるというような異なる場所での熱の発生を起こさせることが可能である点に大きな特徴がある。本発明者らはこの2波長レーザ帯域熔融再結晶化法の特徴に着目し本手法による絶縁性基板上にシリコン薄膜の帯域熔融再結晶化法を詳細に検討し、本手法で無定形の絶縁性基板上で種結晶を使用することなしに帯域熔融再結晶化法により(100)面配向及び(111)面配向の単結晶シリコンを得ることが可能であるという結論に達した。以下にその詳細について述べる。無定形基板上で帯域熔融再結晶化法により単結晶シリコンを得るためには基板上で加熱熔融したシリコン融液が冷却固化再結晶を行なう再結晶の固液界面で過冷却状態の融液が存在し、この過冷却状態の中で固液界面がシリコンの(111)面で構成されるファセット面であることが必要であることは既に述べた。図10は絶縁性基板上に多結晶シリコンを形成しこの多結晶シリコンを加熱熔融後、再結晶化させる時に熔融シリコンの温度を種々変化させて再結晶化させたときの再結晶化シリコンの結晶配向性の变化を再結晶化膜のX線ピークで示したものである。図に示すようにシリコン融液の温度の違いにより再結晶化シリコンの結晶配向面が(100)面の場合と(111)面の場合がある。このようにシリコンの融液時の温度が再結晶化シリコンの配向性を決定する一つの要因になっている。つぎに結晶配向面が(100)面と(111)面と異なる単結晶シリコン薄膜が熔融再結晶化により得られる場合の再結晶化の固液界面のファセット構造がどのようになるかを図で示すと、図11のように結晶配向面が(100)面あるいは(111)面に決まると、その結晶学的制限から固液界面のファセット面は異なる角度で傾くことが要求される。すなわち、(100)面配向のときは(a)で示すようにファセット面は55°であり、(111)面配向のときは(b)で示すようにファセット面は70°である。この傾き以外の条件では(100)面あるいは(111)面は安定に得られない。熱シュミレーション等によりこのようなファセット面の傾きには深さ方向での温度勾配が必要であること、また

望ましい温度勾配の実現には基板内で発生する熱の効果が大きいこともわかった。本発明は以上のような背景のもとに絶縁基板上でシリコンの帯域熔融再結晶化を行なう場合、再結晶化膜の結晶配向性を(100)面あるいは(111)面に制御することを目的として深さ方向で異なる場所に熱の発生を行なうためにシリコンに吸収されるレーザ光(第1のレーザ光)と絶縁性基板に吸収されるレーザ光(第2のレーザ光)を同時に照射し、帯域熔融再結晶化における温度プロファイルを制御するものである。

【0010】以下図13を用いて本発明における薄膜半導体部材の構成要素について述べる。支持体基板1は絶縁性材料で構成される。単体材料としては石英ガラス、セラミック等の耐熱性の有する絶縁性材料が用いられるが、金属、あるいは半導体の上に適当な絶縁膜を形成した基板もまた本発明の支持体基板として用いることができる。具体的にはシリコンウエハー上に絶縁性材料として $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等を形成したものである。あるいはFe、Al、Cu等の金属の上に $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等の絶縁性材料を形成したのもまた支持体基板として使用可能である。さらには耐熱層を形成することによりシリコンの融点より低い材料も支持体基板として用いることができる。耐熱層を構成する材料としては絶縁性のもものでは $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、BN等、また導電性のもものではTiC、SiC等がある。耐熱層を導電性のもので構成する場合には上記の絶縁性材料と組み合わせて用いる必要がある。また場合によっては耐熱性材料を複数組み合わせて使用することもできる。これらの材料をプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法を用いて形成する。半導体あるいは金属材料上に絶縁性材料を形成して支持体基板として用いる場合、あるいは低融点材料上に耐熱層あるいは絶縁層を形成して支持体基板として用いる場合には絶縁層、耐熱層の厚さは用いる材料の第2のレーザ光の吸収を考慮にいれて定めることが望ましく、例えば第2のレーザ光に炭酸ガスレーザ光を用い、絶縁層あるいは耐熱層材料として $\text{SiO}_2$ を形成する場合にはその膜厚は50 $\mu\text{m}$ 程度である。石英ガラス基板のような絶縁性材料を単体で支持体基板として用いる場合にはその機械的強度を保つ要求から通例レーザの吸収厚さに比べて十分に厚い寸法が選ばれる。その値は通常0.3mm~5.0mmであり、望ましくは0.5mm~2.0mmである。支持体基板1上で2波長レーザ帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層2は多結晶シリコンあるいは非晶質シリコンで構成される。このシリコン層2はプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法を用い

て形成する。またこのシリコン層2は帯域熔融再結晶化過程において必要と判断される場合には通常のフォトリソグラフィの手法を用いて任意の形状に加工される場合もある。具体的には図5、図6、図7のようなストライプ状あるいは島状、あるいは連結島状であるが、これらの目的はいずれも支持体基板1上でシリコン融液の移動を制限し、よってファセット成長の安定性の向上を目的としたものであり、従来より帯域熔融再結晶化法によってしばしば用いられる手法である。このようなシリコン層2の加工は再結晶化により得られる単結晶シリコン層の膜厚の均一性の向上には寄与するが、配向性を決定するものではない。シリコン層2の膜厚は $0.1\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ の範囲で再結晶化に使用でき、望ましくは $0.3\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ の範囲である。表面保護膜3は帯域熔融再結晶化手法による単結晶シリコン薄膜の形成において不可欠なものである。これは帯域熔融再結晶化過程において熔融シリコンの蒸発あるいは表面張力による丸まり現象（ビードアップ現象）を防ぐ目的で形成される。この表面保護膜3は絶縁性材料により構成され、望ましい材料としては $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiN}$ であり、これらを単独にあるいは複数組み合わせでシリコン層2に形成する。表面保護膜3の形成方法としてはプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法等である。膜厚は概ね $0.5\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ の範囲で最適化されて形成されるが、望ましくは $1.0\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ である。この表面保護膜3は本発明による薄膜半導体装置を原料として半導体素子を形成する工程において除去される場合もある。

【0011】本発明の2波長レーザ帯域熔融再結晶化法における第1のレーザ光としてはシリコンに吸収帯域（おおよそ $1.2\mu\text{m}$ より短波長側）にある波長の光を出すレーザ光を広く使用できる。具体的には短波長領域の各種のエキシマレーザ、He-Cdレーザ、Arレーザ、He-Neレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、YAGレーザ、あるいは半導体レーザ等が使用可能である。帯域熔融再結晶化に必要な温度プロファイルを形成する熱源とするという観点からは取りだし可能な出力が比較的大きいこと、また連続発振が可能なレーザであることが望ましく、Arレーザ、YAGレーザ、あるいは高出力の半導体レーザから選ぶことが望ましい。これらのレーザ光はその照射領域を広くするためビームの途中にレーザビームエクスパンダを挿入しビームを拡大することも可能であり、さらにはレーザビームを複数本用いてビームを合成して使用することも可能である。シリコン層に照射する場合のビーム形状としては帯域熔融再結晶化法の実現に好適なように均一な線状ビームが好ましい。種々の光学機械を用いてビーム形状を線状で均一にすることが可能である。また前述のごとく複

数本のビームにより均一で線状のビームを形成することが可能である。さらにはビームの高速走査により擬似的に線状のビームを形成することも可能である。基板の予備加熱に用いられる第2のレーザ光としては絶縁性材料に吸収のあるレーザ光を広く使用することができる。赤外領域のレーザ光は広く絶縁性材料に吸収されるので第2のレーザ光としては好適である。具体的には炭酸ガスレーザあるいは一酸化炭素ガスレーザ等が使用できる。第2のレーザビームのビーム形状としては必ずしも線状である必要はない。前述の第1のレーザビームに重ねて照射する場合において、第1のレーザの加熱により熔融してシリコンの再結晶化の熱プロファイルを制御するのに十分な大きさのビーム形状であれば良く図14のごとく線状に形成した第1のレーザビームの長さを $L_1$ とすると第2のレーザのこの方向での長さ $L_2$ は $L_2 > L_1$ が必要であり、望ましくは $L_2 > 1.2L_1$ である。なお、レーザビームは通常は丸形で得られるが、種々の手段により細長い楕円状や実質長方形の形状にしたりして使用することができる。

【0012】第2のレーザは第1のレーザ光と共にシリコン層の帯域熔融再結晶化の熱源として用いられるが、第1のレーザ光での加熱が主としてシリコンを熔融することを目的として用いられるのに対して第2のレーザ光での加熱は熔融シリコンの冷却固化再結晶化過程を制御するために用いられる。そのため第2のレーザ光で加熱される領域は均一な温度プロファイルを示すようにしなければならない。そのために第2のレーザ光のビームは第1のレーザ光のビームに比べて広い領域で均一なパワー密度であることが必要である。カライドスコープ、セグメントミラー等の種々の光学機器を用いてビーム出力を平坦化することが可能である。また前述の第1のレーザ光の場合と同様に複数のレーザビームを合成して平坦な合成ビームを形成しても良い。またビームを走査することで加熱部の温度プロファイルを平坦化することも可能である。またこれらのレーザ光としては連続発振型の他にパルス発振型のレーザ光を使用することも可能である。このようにして第2のレーザ光のビームは概ね第1のレーザ光のビームを囲うような配置で基板上に照射されるが、第2のレーザ光のビームの外周近傍においてはビーム内部とビーム外部の大きな温度差によりたとえビーム強度が均一であっても温度勾配が生ずる場合がある。このような場合にはビームの外周部を強調したビームプロファイルを用いて温度の平坦化を図ることもできる。

【0013】2波長レーザ帯域熔融再結晶化法において用いられる第1のレーザ光と第2のレーザ光は前述の構成の他にそれぞれのレーザ光の強度が照射している場所の温度の変化に応じて変調できなければならない。本発明は帯域熔融再結晶化法により(100)面と(111)面の異なる配向面を有する単結晶シリコンの再結晶化膜を制御し

て得ることである。2波長レーザ帯域熔融再結晶化法において異なる配向面の再結晶化膜が得られる機構については前に述べた。このような熔融シリコンの温度の範囲あるいは固液界面のファセット面の傾きを決定する温度勾配のような熔融再結晶化温度プロファイルを実現するためには照射するレーザ光の出力をフィードバックにより制御することが必要である。何故なら第1のレーザ光あるいは第2のレーザ光の吸収により発生する熱量は吸収する層の膜厚、表面の反射率等様々な要因により変化する。従って帯域熔融再結晶化過程を通じて温度プロファイルを実際に制御するためには光強度のフィードバック制御が必要である。更には前に述べた理由により配向性の制御のためには温度プロファイルのコントロールが必要である。このようなレーザの光強度のフィードバック制御としては図15のごとく照射部の温度情報を帰還信号としてレーザ電源回路に取り込みレーザ出力を制御する方法がある。あるいはレーザ発振器と試料との間に光の強度を外部信号により連続的に変化させる機構を置き照射部の温度変化に応じてこの機構を制御する方法も可能である。光の強度を連続的に変化させる機構としては例えば2枚の偏向板の組合せを利用しても良い。このような光出力のフィードバック制御機構を備えた第1及び第2のレーザ光の照射の方法は基板上で二つのレーザ光の照射で図9に示したような熱プロファイルが形成され帯域熔融再結晶化法が実現できる照射の方法であれば特に制限はない。更には図9に示す熱プロファイルに関しても帯域熔融再結晶化について重要なのは熔融状態から固化にいたる過程であるので、熱プロファイルがビームの走査方向について対称形である必要もない。以下に本発明の具体的な実施例について述べる。

#### 【0014】

【実施例】実施例1（異った結晶配向面をもつ領域を含む単結晶層をもつTFT）本実施例では第1のレーザ光としてArレーザ光、第2のレーザ光として炭酸ガスレーザ光を用いた。図17に示すようにArレーザ発振器27より発射されたArレーザ光51はビーム径1.9mmのものをマルチラインの発振状態で用い、線状のビーム形状を形成するために凸レンズ26を試料21上で焦点を結ぶように配置し更に振動機構27を備えたミラー28を凸レンズ26と試料21の中間に配し、試料21上でビームスポットをレーザ光の走査方向と直交する方向に振動させて試料21上で線状の熱プロファイルを形成する。炭酸ガスレーザ光は4台の炭酸ガスレーザ発振器35, 36, 37, 38を用いてそれぞれミラー31, 32, 33, 34を介して試料21上に導いた。炭酸ガスレーザ光のビーム径はそれぞれ5mmのものをを用いた。Arレーザ光51は放射温度計からなる温度検出部29とフィードバック制御部24よりレーザ電源23を制御し、ビームの走査を通じて測定部の温度が一定になるようにその出力を制御されている。また炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55もArレーザ光51と同様に放射温度計から

なる温度検出部30とフィードバック制御部43を通じて各々のレーザ電源39, 40, 41, 42が制御される。再結晶化膜を形成する基板は以下のようにして作成する。図13において支持体基板1は厚さ1.0mmの透明石英ガラス基板を用いた。このガラス支持体基板1を常法により洗浄し減圧化学気相成長装置(LPCVD装置)を用い帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層2として多結晶シリコン薄膜を形成した。その膜厚は3500Åである。つぎにこの多結晶シリコン薄膜2をフォトリソグラフィの手法により図5のように巾100μmのストライプでストライプ間隔100μmに加工した。ついでこのストライプ状の多結晶シリコンの上にLPCVD装置を用いて帯域熔融再結晶化の時の表面保護層としてSiO<sub>2</sub>薄膜3を厚さ1.2μmに形成した。このように形成した多結晶シリコン薄膜試料を前述のArレーザ光（第1のレーザ光）と炭酸ガスレーザ光（第2のレーザ光）で同時に照射加熱熔融し帯域熔融再結晶化法により単結晶化する。第1のレーザ光と第2のレーザ光の配置は次のようである。多結晶シリコンストライプに直交するようにArレーザ光51はミラー28を用いて振動させた。この時のミラーの振動周波数は1kHzに設定した。またミラーの振幅はシリコン層上でArレーザ光51のビームの振れ幅が1mmになるように設定した。4つの炭酸ガスレーザ発振器35, 36, 37, 38より発射された4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55は図18に示すごとく線状のArレーザ光51の照射位置を囲うように対峙するビーム間隔3mmで配置した（図18は図14の関係を満した具体例である）。Arレーザ光51の出力を2.0W一定とし、ビームを振動させながら4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力を上昇していきと振動するArレーザ光51のビームの照射する位置のシリコン層が熔融する。この状態において図9に示したような帯域熔融再結晶化のための熱プロファイルが基板1上で実現されている。ついでステージ25に備えた試料移動機構により試料21を線状のArレーザビームが多結晶シリコンストライプ9に直交するように移動させるとArレーザ光51の照射部のシリコンの熔融領域8は試料21上でのレーザビームの相対的な走査に伴い、走査方向の下流側まで伸びていき、4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55で熱的にガードされている周囲に熱を放出しながら冷却固化再結晶を行ない、幅100μmの単結晶ストライプとなる。この時のシリコン熔融部の下流側への伸びは試料の移動速度、炭酸ガスレーザ光の出力等により異なるが、試料21の移動速度1mm/s、4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力が各々30Wのとき、熔融シリコンの下流側への伸びはおおよそ1mmであった。ついで温度検出部29でArレーザ光51の照射部のシリコンの融液の温度を検知し（測温部A）、前述の制御法により温度が一定になるようにArレーザ光51の出力を制御し、更にもう一つの温度検出部30で試料21の走査に伴って下流側に伸びてくるシリコン融液の固化部より更に下



流側500 $\mu\text{m}$ の位置の温度を検知し(測温部B)、同様に前述の制御法により温度が一定になるように4本の炭酸ガスレーザー光52, 53, 54, 55の出力を制御した。このように測温部A、Bの2カ所の温度を一定に制御することによりレーザー光の基板上の走査全般に渡って安定な再結晶化膜を得ることができた。更に測温部A、Bの2カ所の温度を表1に示す範囲に設定すると同一基板上でレーザービームの走査により得られた単結晶シリコンの配向面は\*

|              | 再結晶化シリコン膜の配向性 |           |
|--------------|---------------|-----------|
|              | (100)面配向      | (111)面配向  |
| 測温部Aの温度範囲(℃) | 1423~1427     | 1432~1438 |
| 測温部Bの温度範囲(℃) | 1345~1350     | 1325~1330 |

#### 【0015】実施例2

さらに実施例の薄膜半導体装置を用いた応用実施例を示す。透明石英ガラス基板上に本発明が開示する手法を用いて、(111)面配向を有する再結晶化膜と(100)面配向を有する再結晶化膜を近接して形成した。(111)面配向を有する再結晶化膜上には、光取り込み部の面積(画素面積)100 $\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ のPINフォトダイオードの列を125 $\mu\text{m}$ ピッチで形成した。また(100)面配向を有する再結晶化膜上には上記のPINフォトダイオードの列に個々に対応して信号を取り出すためのMOS型の電界効果トランジスタからなるスイッチを形成した。このスイッチ列は外部からのクロック信号により順次、開閉動作を行なうことにより上記PINフォトダイオードの光信号を経時的な電気信号に変換する。このようにして、本発明の薄膜半導体装置を用いて1次元の光センサアレー(密度8本/mm)が完成した。

【0016】実施例3(単結晶領域と多結晶領域をもつTFET)本発明の実施例を図17を用いて説明する。本実施例では第1のレーザー光としてArレーザー光を、第2のレーザー光として炭酸ガスレーザー光を用いた。Arレーザー光51はビーム径1.9mmのものをマルチラインの発振状態で用い、線状のビーム形状を形成するために凸レンズ26を試料21上で焦点を結ぶように配置し、更に振動機構27を備えたミラー28を凸レンズ26と試料21の中間に配置し試料21上でビームスポットをレーザー光の走査方向と直交する方向に振動させて試料21上で線状の熱プロファイルを形成する。炭酸ガスレーザー光52, 53, 54, 55は4台の炭酸ガスレーザー発振器35, 36, 37, 38を用いてそれぞれミラー31, 32, 33, 34を介して試料21上に導いた。炭酸ガスレーザー光のビーム径はそれぞれ5mmのものを用了。Arレーザー光51は放射温度計からなる温度検出部29とフィードバック制御部24よりレーザー電源23を制御し、ビームの走査を通じて測定部の温度が一定になるようにその出力

\* (100)面配向と(111)面配向であった。以上の操作の繰返しにより2波長レーザー帯域熔融再結晶化法により配向性を制御しつつ基板1上の多結晶シリコンストライプを単結晶化した。この後、表面保護層3のSiO<sub>2</sub>薄膜3を緩衝フッ酸溶液にてエッチング除去した。以上により本発明の薄膜半導体装置が完成した。

【表1】

は制御されている。また炭酸ガスレーザー光もArレーザー光と同様に放射温度計からなる温度検出部29とフィードバック制御部24を通じて各々のレーザー電源39, 40, 41, 42が制御される。再結晶化膜を形成する基板は以下のようにして作成する。図13において支持体基板1は厚さ1.0mmの透明石英ガラス基板を用いた。このガラス支持体基板を常法により洗浄し減圧化学気相成長装置(LPCVD装置)を用い帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層2として多結晶シリコン薄膜を形成した。その膜厚は4000Åである。多結晶シリコンの上にLPCVD装置を用いて帯域熔融再結晶化時の表面保護層3としてSiO<sub>2</sub>薄膜3を厚さ2.0 $\mu\text{m}$ に形成した。このように形成した多結晶シリコン薄膜試料を前述のArレーザー光(第1のレーザー光)と炭酸ガスレーザー光(第2のレーザー光)で同時に照射し、加熱熔融し帯域熔融再結晶化法により単結晶化する。又、多結晶の要求される領域においてはArレーザー光と炭酸ガスレーザー光のビームの照射が起こらないようにアライメントする。これより単結晶の領域と多結晶の領域を選択的に形成することができる。第1のレーザー光と第2のレーザー光の配置は次のようにする。走査方向に直交するようにArレーザー光51はミラー28を用いて振動させた。この時のミラーの振動周波数は1kHzに設定した。またミラーの振れ幅はシリコン層上でArレーザー光51のビームの振れ幅が1mmになるように設定した。4本の炭酸ガスレーザー光52, 53, 54, 55は図18に示すように線状のArレーザー光51の照射位置を囲うように対峙するビーム間隔3mmで配置した。Arレーザー光51の出力を2.0W一定とし、ビームを振動させながら4本の炭酸ガスレーザー光52, 53, 54, 55の出力を上昇していくと振動するArレーザー光51のビームの照射する位置のシリコン層が熔融する。この状態において図9に示したような帯域熔融再結晶化のための熱プロファイルが基板1上で実現されている。ついでステージ25に備えた



試料移動機構により試料21を移動させるとArレーザ光51の照射部のシリコンの熔融領域は試料21上でのレーザビームの相対的な走査に伴い、走査方向の下流側まで伸びていき、4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55で熱的にガードされている周囲に熱を放出しながら冷却固化再結晶を行ない単結晶化する。この時のシリコン熔融部の下流側へののびは試料の移動速度、炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力が各々30Wのとき熔融シリコンの下流側へののびは約1mmであった。ついで温度検出部29でArレーザ光51の照射部のシリコンの融液の温度を検知し（図19の測温部A44）、前述の制御法により温度が一定になるようにArレーザ光51の出力を制御し、更には、もう一つの温度検出部30で試料21の走査に伴って下流側にのびてくるシリコン融液の固化部より更に下流側500 $\mu$ mの位置の温度を検知し（図19の測温部B45）、同様に前述の制御法により温度が一定になるように4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力を制御した。このように測温部A、B44, 45の2カ所の温度を一定に制御することによりレーザ光の基板上の走査全般にわたり、安定な再結晶化膜を得ることができた。更に測温部A、B44, 45の2カ所の温度を表1に示す範囲に設定すると同一基板上でレーザビームの走査により得られた単結晶シリコンの配向面は(100)面配向と(111)面配向であった。又、多結晶の要求される領域においてはArレーザ51及び、4台のCO<sub>2</sub>レーザ発振器を用いてCO<sub>2</sub>レーザ52, 53, 54, 55の照射を行なわないようにした。以上の操作の繰返しにより2波長レーザ帯域熔融再結晶化法により配向性を制御しつつ基板1上に(100)面と(111)面に制御された配向面を持つ単結晶シリコンと多結晶シリコンを形成した。なお、図19は図18のようなレーザ光の配置で本発明の薄膜半導体装置を形成する場合に、シリコンの熔融領域が第1のレーザ光の照射が過ぎた後も熔融状態を保持して後方に伸びることを模擬的に示すものである。この後、表面保護層3のSiO<sub>2</sub>薄膜を緩衝フッ酸溶液にてエッチング除去した。以上により本発明の薄膜半導体装置が完成した。

【0017】実施例4（単結晶領域と多結晶領域をもつTFET）図21を用いて説明する。本実施例は実施例3の薄膜半導体装置を用いた応用実施例である。透明石英ガラス基板上に本発明の手法を用いて(111)面配向を有する再結晶化膜61と(100)面配向を有する再結晶化膜62を近接して形成し、その間の領域には多結晶シリコン63を形成した。その後、通常の半導体プロセスを用いて(111)面配向を有する再結晶化膜61上には光取り込み部の面積（画素面積）100 $\mu$ m $\times$ 100 $\mu$ mのPINフォトダイオードの列64を125 $\mu$ mピッチで形成した。また(100)面配向を有する再結晶化膜62上には上記のPINフォトダイオードの列に個々に対応して信号を取り出すためのMOS型FETからなるスイッチ65を形成した。このMOS型FET65とPINフォトダイオード列64の電気的な接続に

は多結晶シリコンを用いて配線66を行った。この多結晶シリコンは半導体プロセス中の不純物拡散工程において十分に拡散されている。この拡散工程においてMOS型トランジスタのゲート電極の多結晶シリコン67も同時に拡散される。MOS型FETのスイッチ列は外部からのクロック信号により順次、開閉動作を行い、上記PINフォトダイオードの光信号を経時的な電気信号に変換する。このようにして本発明の薄膜半導体装置を用いて金属配線を少なくした1次元の光センサアレー（密度8本/mm）が完成した。

#### 【0018】実施例5

図17を用いて本実施例の構成を説明する。本実施例では、第1のレーザ光としてArレーザ光、第2のレーザ光として炭酸ガスレーザ光を用いた。Arレーザ光51はビーム径1.9mmのものをマルチラインの発振状態で用い、線状のビーム形状を形成するために凸レンズ26を試料21上で焦点を結ぶように配置し更に振動機構27を備えたミラー28を凸レンズ26と試料21の中間に配し試料21上でビームスポットをレーザ光の走査方向と直交する方向に振動させて試料21上で線状の熱プロファイルを形成する。炭酸ガスレーザ光は4台の炭酸ガスレーザ発振器52, 53, 54, 55を用いてそれぞれミラー31, 32, 33, 34を介して試料21上に導いた。炭酸ガスレーザ光のビーム径はそれぞれ5mmのものをを用いた。Arレーザ光51は放射温度計からなる温度検出部29とフィードバック制御部24よりレーザ電源23を制御し、ビームの走査を通じて測定部の温度が一定になるようにその出力を制御されている。また炭酸ガスレーザ光もArレーザ光と同様に放射温度計からなる温度検出部30とフィードバック制御部43を通じて各々のレーザ電源39, 40, 41, 42が制御される。再結晶化膜を形成する基板は以下のようにして作成する。図13において支持体基板1は厚さ1.6mmの透明石英ガラス基板を用いた。このガラス支持体基板1を常法により洗浄し、スパッタ装置を用い帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層2として非晶質シリコン薄膜を形成した。その膜厚は3500Åであり、水素含有率はIRスペクトル分析により0.8atom%であった。次に、この非晶質シリコン層の上にLPCVD装置を用いて、帯域熔融再結晶化の時の表面保護層3としてSiO<sub>2</sub>薄膜を厚さ1.5 $\mu$ mに形成した。このように形成した非晶質シリコン薄膜試料を前述のArレーザ光（第1のレーザ光）と炭酸ガスレーザ光（第2のレーザ光）で同時に照射加熱熔融し帯域熔融再結晶化法により単結晶化する。第1のレーザ光と第2のレーザ光の配置は次のようである。試料移動方向に直交するようにArレーザ光51はミラー28を用いて振動させた。この時のミラーの振動周波数は1kHzに設定した。またミラーの振幅はシリコン層上でArレーザ光51のビームの振幅が1mmになるように設定した。4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55は図18に示すごとく線状のArレーザ光51の照射位置を囲うように

対峙するビーム間隔3mmで配置した。次に、Arレーザ光51の出力を2.0W一定とし、ビームを振動させながら4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力を上昇していくと、振動するArレーザ光51のビームの照射する位置のシリコン層が熔融する。この状態において図9に示したような帯域熔融再結晶化のための熱プロファイルが基板1上で実現されている。さらに、ステージ25に備えた試料移動機構により、試料21を線状のArレーザビームに対して移動させると、Arレーザ光51の照射部のシリコンの熔融領域は、試料21上でのレーザビームの相対的な走査に伴い走査方向の下流側まで伸びていき、4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55で熱的にガードされている周囲に熱を放出しながら冷却固化再結晶を行ない、幅500μmのストライプ状の単結晶シリコン領域が形成される。この時のシリコン熔融部の下流側への伸びは、試料の移動速度、炭酸ガスレーザ光の出力等により異なるが、試料21の移動速度1mm/s、4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力が各々30Wのとき、熔融シリコンの下流側への伸びはおおよそ1mmであった。このとき、温度検出部29で、図19に示すようにArレーザ光51の照射部のシリコンの融液の温度を検知し（44で示す测温部A）、前述の制御法により温度が一定になるようにArレーザ光51の出力を制御し、更にもう一つの温度検出部30で、試料21の走査に伴って下流側に伸びてくるシリコン融液の固化部より更に下流側500μmの位置の温度を検知し（45で示す测温部B）、同様に前述の制御法により温度が一定になるように4本の炭酸ガスレーザ光52, 53, 54, 55の出力を制御した。このように测温部A、Bの2カ所の温度を一定に制御することによりレーザ光の基板上の走査全般に渡って安定な再結晶化膜を得ることができた。更に测温部Aの温度範囲を1420℃～1430℃とし、测温部Bの温度範囲を1330℃～1340℃と設定すると、図12で示すサブグレインバンダリーの存在が極めて少ない単結晶シリコン領域を形成することができた。この後、表面保護層3のSiO<sub>2</sub>薄膜を緩衝フッ酸溶液にてエッチング除去することにより、本発明の薄膜半導体装置が完成した。

#### 【0019】実施例6

次に、実施例5の薄膜半導体装置を用いた応用実施例を示す。透明石英ガラス基板上に本発明が開示する手法を用いて、非晶質シリコン薄膜と単結晶シリコン薄膜を同一面内に形成した。そして、非晶質シリコン薄膜上には、プラズマ水素化処理をした後、光取り込み部の面積（画素面積）100μm×100μmのa-Si:Hフォトダイオードの列を125μmピッチで形成した。また、単結晶シリコン薄膜上には、上記フォトダイオードの列に個々に対応して、信号を取り出すためのMOS型の電界効果トランジスタからなるスイッチを形成した。このスイッチ列は、外部からのクロック信号により順次、開閉動作を行なうことにより、上記フォトダイオードの光信号を経時

的な電気信号に変換する。このようにして本発明の薄膜半導体装置を用いた1次元の光センサアレー（密度8本/mm）が完成した。

#### 【0020】比較例7

実施例5と同様の透明石英ガラス基板上にLP-CVD法により非晶質シリコン層を形成したところ、その膜厚は3400Åであり、また水素含有率をIRスペクトルにより分析したところ、5atom%であった。そして、この非晶質シリコン層の上にLP-CVD法により、SiO<sub>2</sub>薄膜を厚さ1.5μmに形成した。このようにして形成した非晶質シリコン薄膜材料基板を実施例5と同様の方法で帯域熔融再結晶化したところ、再結晶化膜中には無数のポイドが発生し、デバイス形成のための基板として使用可能なものは得られなかった。

#### 【0021】

【効果】本発明により、1つの半導体層上の特定領域毎に異なった結晶配向面をもつ、および/または異なった結晶状態をもつもので構成された新しいタイプの薄膜半導体装置を提供できた。本発明によれば、同一基板上に目的、用途に適した結晶配向面、あるいは結晶性を有する領域を任意に形成できるので、デバイス設計、製造プロセス等の面での自由度が広がるとともに、高性能のデバイスを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】熔融再結晶法における温度分布の具合によっては多結晶化することを示す概略図である。

【図2】熔融再結晶法における温度分布の具合によっては単結晶化することを示す概略図である。

【図3】(a)は、再結晶化の方向(矢印)におけるシリコン薄膜の好ましい温度分布を示し、シリコンの融点1412℃を上まわる温度の個所が熔融再結晶化が行われている個所である。(b)は、シリコン薄膜の層を有する絶縁性基板よりなる薄膜半導体装置の概略図であり、8はシリコンの熔融部分を示す。

【図4】熔融シリコンの固液界面の状態図である。

【図5】絶縁性基板上に設けられたシリコン層の形状がストライプ状の場合を示す薄膜半導体装置の平面図である。

【図6】絶縁性基板上に設けられたシリコン層の形状が島状の場合を示す薄膜半導体装置の平面図である。

【図7】絶縁性基板上に設けられたシリコン層の形状が連結島状の場合を示す薄膜半導体装置の平面図である。

【図8】本発明の帯域熔融再結晶化の状態を示す薄膜半導体の断面図である。

【図9】本発明の2種類のレーザ光による加熱領域の温度プロファイルを示す。

【図10】本発明の再結晶化膜のX線ピークを示す。

【図11】(a)は(100)結晶配向面のファセット面角度を示す。

(b)は(111)結晶配向面のファセット面角度を示す。

【図12】シリコン層の熔融再結晶化時の温度プロファイルとサブグレインバンドリーの発生形態を模式的に示す図である。

【図13】本発明の薄膜半導体装置の断面図である。

【図14】本発明の薄膜半導体装置に用いる2波長レーザ帯域熔融再結晶法が可能な第1レーザ光と第2レーザ光との好適な相対的位置関係を示した図である。

【図15】レーザの光強度のフィードバックシステムの1例を示す。

【図16】レーザの光強度のフィードバックシステムの他の1例を示す。

【図17】本発明実施例におけるレーザ照射システムを示す。

【図18】第1レーザと第2レーザの組合せ照射例を示す。

【図19】本発明実施例のレーザ光の配置で行われる帯域熔融再結晶化の様子を模式的に示す図である。

【図20】線状ヒータを用いた帯域熔融法の概略図である。

【図21】(a)は、本発明実施例4で用いた薄膜半導体装置の平面図である。

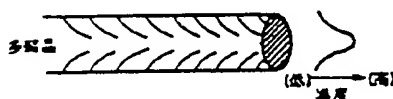
(b)は、(a)を加工して得られた実施例4の光センサアレイの概略図である。

【符号の説明】

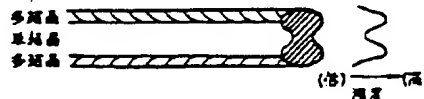
- 1 絶縁性基板
- 2 半導体層（シリコン層）
- 3 表面保護層
- 4 第1のレーザ光
- 5 第2のレーザ光
- 8 熔融帯域
- 11 絶縁性基板
- 12 レーザ発振器
- 13 レーザ電源
- 14 フィードバック制御部
- 15 温度検知部

- 16 光変調部
- 21 試料
- 22 Arレーザ発振器
- 23 Arレーザ電源
- 24 Arレーザ用フィードバック制御部
- 25 ステージ
- 26 凸レンズ
- 27 ミラー振動機構
- 28 Arレーザ用ミラー
- 29 Arレーザ用温度検知部
- 30 炭酸ガスレーザ用温度検知部
- 31 炭酸ガスレーザ用ミラー検知部
- 32 炭酸ガスレーザ用ミラー検知部
- 33 炭酸ガスレーザ用ミラー検知部
- 34 炭酸ガスレーザ用ミラー検知部
- 35 炭酸ガスレーザ発振器
- 36 炭酸ガスレーザ発振器
- 37 炭酸ガスレーザ発振器
- 38 炭酸ガスレーザ発振器
- 39 炭酸ガスレーザ電源
- 40 炭酸ガスレーザ電源
- 41 炭酸ガスレーザ電源
- 42 炭酸ガスレーザ電源
- 43 炭酸ガスレーザ用フィードバック制御部
- 44 測温部A
- 45 測温部B
- 46 熔融領域
- 51 Arレーザビーム
- 52 炭酸ガスレーザビーム
- 53 炭酸ガスレーザビーム
- 54 炭酸ガスレーザビーム
- 55 炭酸ガスレーザビーム
- 61 (111)面配向を有する再結晶化領域
- 62 (100)面配向を有する再結晶化領域
- 63 多結晶シリコン領域

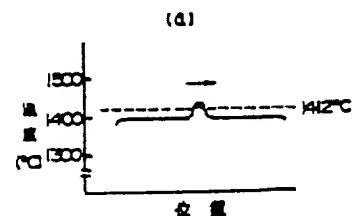
【図1】



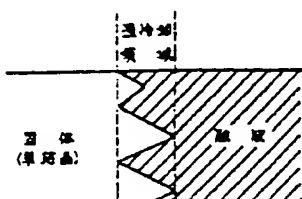
【図2】



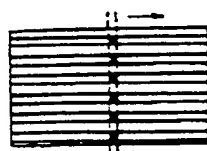
【図3】



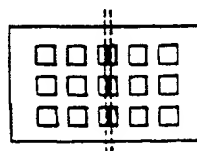
【図4】



【図5】



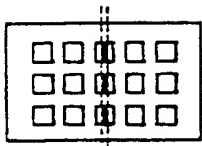
【図6】



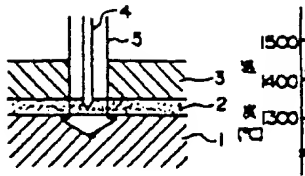
(b)



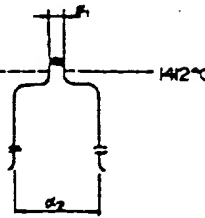
【図7】



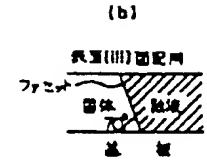
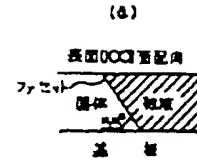
【図8】



【図9】

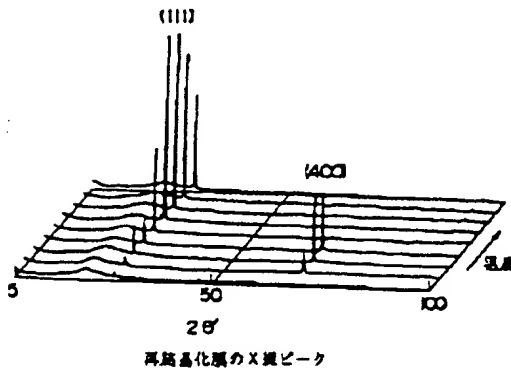


【図11】

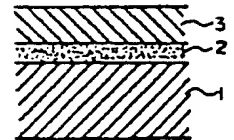
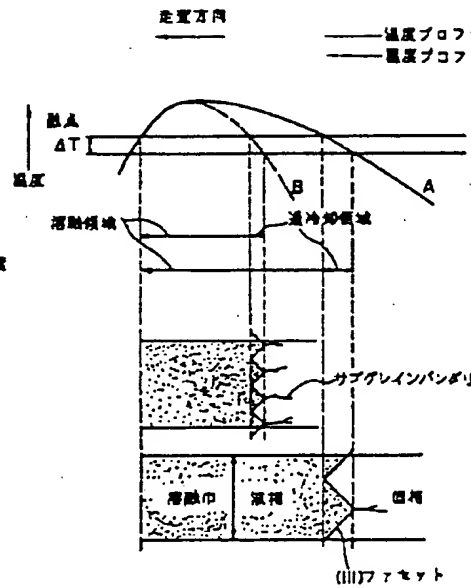


【図13】

【図10】



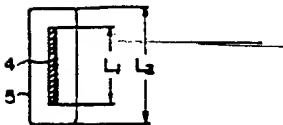
【図12】



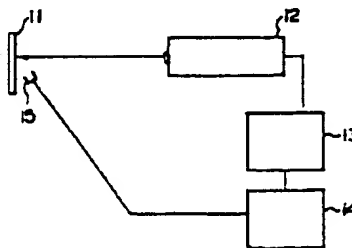
【図19】



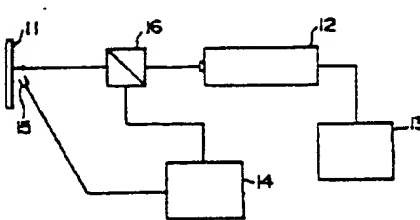
【図14】



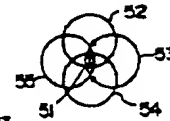
【図15】



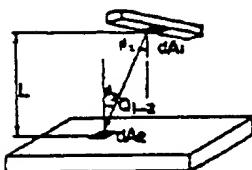
【図16】



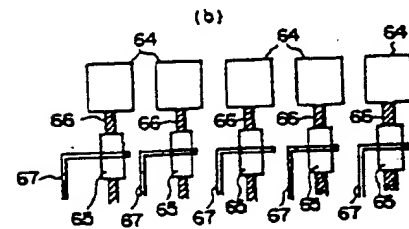
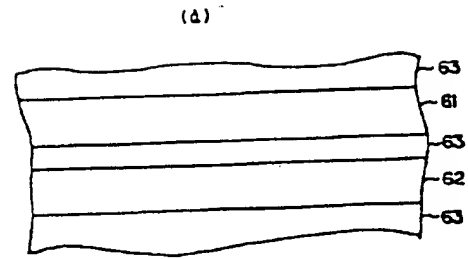
【図18】



【図20】



【图 2 1】



【图 7】

【補正内容】

(72) 発明者 日野 威

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の  
10 リコー応用電子研究所株式会社内

(72) 発明者 熊野 勝文

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の  
10 リコー応用電子研究所株式会社内

Laid-Open Number : 4-338631  
Laid-Open Date : November 25, 1992  
Application Number : 3-139814  
Application Date : May 15, 1991  
IPC's : H 01 L 21/20  
Applicants : Ricoh Co., Ltd.  
3-6, Naka-umagome 1-chome  
Ota-ku, Tokyo, Japan  
Ricoh Applied Electronics  
Research Institute Co., Ltd.  
5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo,  
Natori-shi, Miyagi-ken, Japan  
Inventor : Yukihiro Sato  
Ricoh Applied Electronics  
Research Institute Co., Ltd.  
5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo  
Natori-shi, Miyagi-ken, Japan  
Title : A Thin Film Semiconductor Device and A  
Method for Manufacturing Thereof

#### Specifications

(54) [Title of the Invention]

A Thin Film Semiconductor Device and A Method for  
Manufacturing Thereof

(57) [Abstract]

[Object]

Conventionally in thin film semiconductor devices, there has been not an idea that different crystal orientation surfaces and/or different crystal conditions are arranged in specific areas in a semiconductor layer. The present invention is to realize the above innovative idea.

[Structure]

In a thin film semiconductor device that has a semiconductor layer on an insulative substrate, the above semiconductor layer comprises crystal areas wherein specific areas have different crystal orientation surfaces and/or different crystal conditions per area.

[Claims]

(1) A thin film semiconductor device that has a semiconductor layer on an insulative substrate, being characterized in that the above semiconductor layer comprises crystal areas wherein specific areas have different crystal orientation surfaces and/or different crystal conditions per area.

(2) A thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises a monocrystal, and the crystal orientation surfaces thereof comprise area having (100) plane and areas having (110) plane.



(3) A thin film semiconductor device set forth in claim 2, wherein the above semiconductor layer comprising the above monocrystal is formed in band shape or spot shape.

(4) A thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises monocrystal areas and polycrystal areas.

(5) A thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises monocrystal areas and noncrystal areas.

(6) A thin film semiconductor device set forth in claim 4 or 5, wherein the above monocrystal areas comprise (100) orientation area, (111) orientation area and (100) orientation area and (111) orientation area.

(7) A method for manufacturing a thin film semiconductor device, wherein band melting re-crystallization method is applied to a noncrystal or polycrystal semiconductor layer formed on an insulative substrate, and the above semiconductor layer is converted into a monocrystal layer, and the above method being characterized in that a laser beam that is absorbed in the above semiconductor layer and a laser beam that is absorbed in the insulative substrate are used in combination and radiated at the same time as a heating means for the above band melting re-crystallization.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a method for manufacturing a thin film semiconductor device and an innovative type of thin film semiconductor device that is obtained by use thereof.

[0002]

[Prior Art]

Conventionally there have been many methods for forming a monocrystal silicon thin film on an insulative substrate, namely, what are called SOI formation methods. In most of them, a noncrystal or polycrystal silicon thin film is formed on an insulative substrate, and this noncrystal or polycrystal silicon thin film is melted once by use of various heat sources, then cooled and solidified to be recrystallized, and finally is made into monocrystal. As heat sources in this case, used are a laser beam, electron beam, various lamp beams, wire-shaped carbon heater and so forth. The crystal orientation surface (a silicon crystal surface to appear on substrate surface) of a monocrystal silicon obtained by SOI formation method using such a conventional melting re-crystallization method is determined by the orientation surface of the seed crystal thereof in the case using a seed crystal at melting re-crystallization.

In the case of a substrate of a structure wherein an insulative film is formed on the above insulative substrate by methods for forming a silicon oxide film or various films on silicon wafer thereof, as for a seed crystal, a hole is made on an insulative layer on wafer before forming a noncrystal or polycrystal silicon on this substrate, and noncrystal or polycrystal silicon is formed so as to cover the hole, and the above melting re-crystallization is carried out from the upper of this hole, thereby part of wafer may be used as a seed crystal. However, in the case when the above insulative substrate is what is called an amorphous substrate made of quartz glass and so forth, it is impossible to control the orientation surface of re-crystallized film by the above method. It is known that a monocrystal silicon thin film of (100) plane orientation is obtained in the case wherein a polycrystal silicon film is formed on a quartz glass substrate, and an oxide silicon film is formed thereon as a surface protective layer, and a polycrystal silicon layer between the quartz glass substrate and the oxide silicon film is melted in band shape by heat supplied from external side and is re-crystallized thereby. This method is called Zone Melting Recrystallization (ZMR method hereinafter), and is known as an SOI formation method without using a seed crystal. Further suggested is a method wherein a place where core formation density is high is

formed on an amorphous substrate by various methods, and a monocrystal silicon is selectively grown thereon by using the difference of core formation density on substrate. In these SOI formation methods, the crystal orientation surface of a monocrystal silicon formed on an insulative substrate is determined by the crystal surface by a seed crystal thereof in the case using a seed crystal. And according to the above ZMR method, at present it is not possible to make other crystal orientation surface than (100) plane stable. Therefore, when a semiconductor element is formed with such thin film semiconductor components as raw materials, the characteristics thereof are determined by the crystal orientation surface of the thin film semiconductor components used, accordingly, it has been very difficult to select crystal orientation surface suitable for semiconductor element, and further to obtain an SOI film having different orientation in a single substrate in order to form a higher performance semiconductor element. Thus, the monocrystal silicon thin film obtained by SOI formation method using the conventional melting recrystallization method exists continuously on whole substrate surface, or relatively wide area, and the applications thereof as thin film semiconductor raw material have been limited to ones to device drive portions as TFT active layer and so forth. And it has been very difficult to manufacture a single substrate

having a polycrystal silicon or noncrystal silicon layer. For example, when to form a sensor portion by use of noncrystal silicon in a single substrate, in addition to a process to form a monocrystal thin film wherein a monocrystal silicon thin film in a necessary area is etched and removed by photolithography, and remaining monocrystal silicon thin film portion is masked, and noncrystal silicon is accumulated by method of CVD method and so forth, it has been necessary to carry out a process for forming noncrystal silicon newly.

[0003]

[Object]

The first object of the present invention is to provide an innovative method for manufacturing SOI by zone melting recrystallization method. The second object of the present invention is to provide a thin film semiconductor device that comprises areas of different crystal conditions and/or different crystal orientation of semiconductor layer in SOI and may be used for new types of multiple applications.

[0004]

[Structure]

The first of the present invention relates to a thin film semiconductor device that has a semiconductor layer on an insulative substrate, being characterized in that the above semiconductor layer comprises crystal areas wherein

specific areas have different crystal orientation surfaces and/or different crystal conditions per area. The second of the present invention relates to a thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises a monocrystal, and the crystal orientation surfaces thereof comprise area having (100) plane and areas having (111) plane. The third of the present invention relates to a thin film semiconductor device set forth in claim 2, wherein the above semiconductor layer comprising the above monocrystal is formed in band shape or spot shape. The fourth of the present invention relates to a thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises monocrystal areas and polycrystal areas. The fifth of the present invention relates to a thin film semiconductor device set forth in claim 1, wherein the above semiconductor layer comprises monocrystal areas and noncrystal areas. Especially the content of hydrogen in noncrystal area is preferably below 1 atom %. The sixth of the present invention relates to a thin film semiconductor device set forth in claim 4 or 5, wherein the above monocrystal areas comprise (100) orientation area, (111) orientation area and (100) orientation area and (111) orientation area. The seventh of the present invention relates to a method for manufacturing a thin film semiconductor device, wherein band melting

re-crystallization method is applied to a noncrystal or polycrystal semiconductor layer formed on an insulative substrate, and the above semiconductor layer is converted into a monocrystal layer, and the above method being characterized in that a laser beam that is absorbed in the above semiconductor layer and a laser beam that is absorbed in the insulative substrate are used in combination and radiated at the same time as a heating means for the above band melting re-crystallization.

[0005]

Hereinafter, explanations are made on silicon as a semiconductor thin film layer under the present invention, however, the present invention is not limited to silicon, but may be applied to all the raw materials wherein crystal structure has a diamond structure or a zinc blend structure such as single or compound semiconductor of cycle ratio IV group, III-V group, II-VI group, concretely, besides Si, Ge, SiC, BN, BP, BAs, AlP, AlSb, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, CdHg, etc.

[0006]

A method for manufacturing a thin film semiconductor device disclosed in the present invention is characterized in that when a monocrystal silicon thin film is formed on an insulative substrate by zone melting recrystallization method, a laser beam that is absorbed in the above



semiconductor layer and a laser beam that is absorbed in the insulative substrate are used in combination and radiated at the same time, thereby silicon is melted to be recrystallized. Further, method for manufacturing a thin film semiconductor device disclosed in the present invention is characterized in that when two laser beams are radiated to recrystallize a silicon layer, radiation conditions such as output, beam shape, radiation position and so forth of two laser beams are changed, and temperature profile of melting recrystallization area of silicon layer is controlled, thereby the crystal orientation of monocrystal silicon is controlled to be (100) plane or (111) plane.

[0007]

The formation of monocrystal silicon of noncrystal or polycrystal silicon formed on an insulative substrate by melting recrystallization method is explained hereinafter. When noncrystal or polycrystal silicon formed on an insulative substrate by various heat sources is heated and melted (silicon melting point  $1412^{\circ}\text{C}$ ), and the heated portion is scanned relatively on silicon layer, melted silicon is cooled down and solidified to be recrystallized as the movement of heat sources. At this moment, in the condition wherein the temperature distribution of melted portion by heating is high at center and low at

circumference as shown in FIG.1, recrystallization of melted silicon starts much at the same time from the circumference of melted portion, as a result, recrystallized silicon becomes a polycrystal body. In order to prevent such polycrystallization and to carry out recrystallization, it is already known to make the center of temperature profile in melted area (temperature profile in the present invention shows temperature change in a series of phenomena of silicon melting recrystallization processes, i.e., heating, melting, cooling, solidifying, and concretely, is expressed by measuring temperature at the above one or plural conditions, or physical amounts showing temperature.) lower than circumference. Thereby, as shown in FIG.2, recrystallization always starts at the center, and recrystallized silicon may be obtained as monocrystal. As for heat source for them, laser beam is mainly used, and the scanning speed of heat source is around 10 cm/sec. Further, as another method for forming a monocrystal silicon thin film on an insulative substrate by melting recrystallization method, there is Zone Melting Recrystallization method. In this method, the formation of monocrystal silicon is described as shown below. The outline is shown in FIG.3, and when a silicon layer for melting recrystallization is heated and melted in band shape, silicon layer at other than area 8 melted in band shape is heated up to a temperature near the melting

point of silicon, and melted area is moved, thereby silicon is solidified and recrystallized and monocrystal silicon is obtained. At this moment, at solid - liquid boundary of coagulation of melted silicon, as shown in FIG.4, there exist area of excessively cooled condition that keeps liquid status even after silicon melting point  $1412^{\circ}\text{C}$ , and solid - liquid boundary of recrystallization of silicon is said to be formed by gathering of (111) plane facet (small crystal plane) where growth is most slow among silicon crystal plane in this excessively cooled area. As for the formation of monocrystal silicon, along with movement of melted area 8 of band shape, excessively cooled area moves, and in this excessively cooled area, facet plane comprising silicon (111) plane grows continuously. As a method for forming—melted area in band shape, there are a method where heat is given by linear carbon heater arranged near substrate, or RF inductive heating method and so forth. The movement speed of melted area in band shape in this method is around several mm/sec, and in solid - liquid boundary of recrystallization, a status of almost heat balance is realized, which is one of characteristics of this method. In the case of  $\text{SiO}_2$  formed by heat CVD as an insulative substrate of quartz glass (or  $\text{SiO}_2$  layer) and as surface protective film at recrystallization in recrystallization monocrystal silicon

thin film formed by zone melting recrystallization method, though seed crystal is not used, crystal orientation surface of recrystallized film is (100) plane.

[0008]

The present inventors focused attention on this zone melting recrystallization method, and have invented a zone melting recrystallization method using a heating method having functions different from the conventional heating method. As a result, by use of a method according to the present invention, it is possible to control the orientation surface of recrystallized monocrystal silicon film into (100) plane or (111) plane which has been difficult according to the conventional zone melting recrystallization method. The technical background of the present invention is described hereinafter. In the present invention, as heat sources, a laser beam that is absorbed in silicon (the first laser beam hereinafter) and a laser beam that is absorbed in insulative substrate (the second laser beam hereinafter) are employed. This is because these laser beams are heat sources extremely fit for forming monocrystal silicon on insulative substrate by zone melting recrystallization method. First described are advantages of laser heating method in zone melting recrystallization method. FIG.20 shows heating by a liner heater generally used as heating source in the conventional zone melting recrystallization. At temperature

range near the melting point of silicon, heating from liner heater is mainly of radiant heating, and in such a case, the heat amount received from a heat source at an optional point on substrate is calculated by the following equation (1).

[Equation 1]

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \int_{A_1} \int_{A_2} \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{1}{L^2} dA_1 dA_2 \quad (1)$$

wherein,  $Q_{1 \rightarrow 2}$  is heat amount at optional point on substrate received from heat source,

$L$  is distance between heat source and substrate having semiconductor layer,

$A_1$  is area as heat source of linear heater,

$A_2$  is area of semiconductor layer to be heated,

$dA_1$  is micro area in  $A_1$ ,

$dA_2$  is micro area in  $A_2$ ,

$\phi_1$  is angle of  $dA_1$  to  $dA_2$ , and

$\phi_2$  is angle of  $dA_2$  to  $dA_1$ .

As is apparent from the description of the equation (1), the distance between heat source and substrate affects with the second power. Namely, in the case to realize temperature profile for stable zone melting recrystallization by radiant heating, it is necessary to control the distance between heat source and substrate precisely. This requirement to

heat source is not limited to the case of linear heater, but in other heat source, it is inevitable so long as heating method is by radiant heating. In contrast, in the case where laser beam is used as heating source, heat generation is absorbed in laser beam, the temperature profile on substrate is not affected by the distance between substrate and laser beam, and in consideration of excellent parallel property of laser beam, it is possible to lead a light source from an optional position onto substrate. And in the zone melting recrystallization method using conventional heating method, cooling speed must be made small from necessity to form excessive cooling area in solid - liquid boundary of recrystallization. Therefore, it has been necessary to heat the whole substrate up to near silicon melting point in order to make heat curve of solid - liquid boundary small. As a result, the substrate after zone melting recrystallization has often causes heat deformation owing to high temperature heating for a long time. And a heating device may be large, or dimensions of a substrate may be restricted by restrictions of device. In contrast, in the case of heat source of laser beam, since laser beam has sufficiently high energy density in comparison with other heating method, it is possible to keep laser radiation area at sufficiently high temperature against heat release to ambience. Accordingly, there is no need to heat up the whole

substrate up to near silicon melting point, and there is not a problem of substrate deformation by high temperature heating as seen in conventional zone melting recrystallization, and also there is not any restriction of device for heating substrate. In addition to the characteristics of the case when laser beam is used as a heating source, in laser beam, the size thereof may be optionally varied by combination of lenses, mirrors, and other various optical parts, and laser beam may be guided to an optional position, as a consequence, it is possible to carry out the process of zone melting recrystallization selectively only on one part in substrate. Further, absorption of laser beam into raw material is limited to depth several ten  $\mu\text{m}$  from the surface of raw material, therefore, in the case of laser as heating source, only the surface of substrate is heated up. So it is also possible to use a substrate having lower melting point or softening point than silicon melting point as a supporting substrate, which has been not realized by the conventional zone melting recrystallization.

[0009]

The present invention, having the advantages from using laser beam as heating source in zone melting recrystallization and using the above two kinds of laser beams, has innovative characteristics. FIG.8 shows a



condition of a zone melting recrystallization according to a method disclosed in the present invention. When the above first laser beam 4 and the second laser beam 5 are radiated at the same time onto a silicon layer (semiconductor layer) 2 formed on an insulative substrate 1, the first laser beam 4 is absorbed in the silicon layer 2, wherein heat is generated. And the second laser beam 5 is absorbed in the substrate 1, wherein heat is generated. Namely, when the silicon layer 2 is under preliminary heating by the second laser beam 5, it is heated by the first laser beam 4. The temperature profile of heating area by the two kinds of laser beam is as shown in FIG.9, and it is possible to form silicon melting area by making the beam diameter ( $\alpha_2$ ) of the second laser beam large, and making the beam diameter ( $\alpha_1$ ) of the first laser beam narrow, and maximizing the output of two kinds of laser beam. This temperature profile is substantially same as temperature profile to realize zone melting recrystallization as shown in FIG.3 in area heated by laser beam, and by keeping such a temperature profile and scanning beam relatively with substrate, recrystallized monocrystal silicon is obtained by mechanism of the above zone melting recrystallization. Further, the present method is characterized in that heat generation by radiation of the first laser beam occurs in silicon thin film layer, and heat

generation by radiation of the second laser beam occurs in an insulative substrate, thus heat generation may occur at different positions. The present inventors focused attention upon the characteristics of this 2-wave length laser zone melting recrystallization, and examined the zone melting recrystallization method of silicon thin film on insulative substrate by the present method, and have come to the conclusion that it is possible to obtain monocrystal silicon of (100) plane orientation and (111) plane orientation by the zone melting recrystallization method without using a seed crystal on an amorphous substrate. Details are explained hereinafter. It has been already described that in order to obtain monocrystal silicon on an amorphous substrate by the zone melting recrystallization method, melted liquid in excessively cooled status must be exist at solid - liquid boundary of recrystallization where silicon melted liquid carries out cooling and solidifying recrystallization on substrate, and in this excessively cooled status, the solid - liquid boundary must be faucet plane comprising (111) plane of silicon. FIG.10 shows the changes of crystal orientation of recrystallized silicon by X-ray peak of recrystallized film when polycrystal silicon is formed on an insulative substrate and this polycrystal silicon is heated and melted, and recrystallized, and the temperature of melted silicon is changed, and

recrystallization is carried out. As shown in the figure, according to the difference of temperature of silicon melted liquid, there are a case where the crystal orientation surface of recrystallized silicon is (100) plane and a case where the crystal orientation surface of recrystallized silicon is (111) plane. Thus, the temperature at melted liquid of silicon is one of the factors to determine orientation of recrystallized silicon. Then, in reference to figure, the faucet structure of solid - liquid boundary of recrystallization in the case where monocrystal silicon thin film wherein crystal orientation surface has (100) plane and (111) plane is obtained by melting crystallization is explained. As shown in FIG.11, when crystal orientation surface is determined to be (100) plane or (111) plane, according to crystal restriction, the faucet surface of solid - liquid boundary is required to be inclined at different angle. Namely, in the case of (100) plane orientation, the faucet surface is 55 degrees as shown in (a), while in the case of (111) plane orientation, the faucet surface is 70 degrees as shown in (b). At other condition than these angles, (100) plane or (111) plane cannot be obtained stably. It has been known that temperature curve in depth direction is necessary for faucet surface inclination from heat simulation and so forth, and that the effect of heat generated in substrate is necessary

for realization of preferable temperature curve. The present invention has been made in consideration of the above background, and may be embodied into one wherein when zone melting recrystallization of silicon is carried out on an insulative substrate, in order to control the crystal orientation of recrystallized film to (100) plane or (111) plane, and so as to generate heat at places different in depth direction, a laser beam that is absorbed in the above semiconductor layer and a laser beam that is absorbed in the insulative substrate are radiated at the same time, thereby temperature profile in zone melting recrystallization is controlled.

[0010]

In reference to FIG.13, components of a thin film semiconductor in the present invention is described hereinafter. the supporting substrate 1 comprises an insulative material. As single raw material, quartz glass, ceramic and other insulative materials having heat resistance are used, and also a substrate wherein appropriate insulative film is formed on a metal or a semiconductor may be employed as a supporting substrate in the present invention. Concretely, there is one wherein  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and so forth are formed as insulative material on an silicon wafer. Or, one wherein  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and other

insulative materials are formed on metals such as Fe, Al, Cu and so forth may be employed as a supporting substrate in the present invention. Further, even a material having low temperature than silicon melting point may be used as supporting substrate by forming a heat resisting layer thereon. As raw materials to configure a heat resisting layer, there are  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , BN and so forth as insulative ones, while there are TiC, SiC and so forth as conductive ones. In the case to configure a heat resisting layer with conductive materials, it is necessary to use them in combination with the above insulative material. And in some cases, a combination of plural heat resisting materials may be employed. These raw materials are formed by use of various film formation methods such as plasma CVD method, heat CVD method, optical CVD method, LP-CVD method, MO-CVD method, sputtering method, vacuum deposition method, ion beam cluster formation method and so forth, and various methods for improving materials such as ion implantation method. In the case when insulative material is formed on a semiconductor or a metallic material and is used as a supporting substrate, or in the case when a heat resisting layer or an insulative layer is formed on a low melting point material and is used as a supporting substrate, it is preferable to determine the thickness of a

heat resisting layer or an insulative layer in consideration of absorption of the second laser beam into material, for example, when carbon dioxide gas laser beam is used as the second laser beam, and  $\text{SiO}_2$  is formed as an insulative layer or a heat resisting layer material, the thickness is around 50  $\mu\text{m}$ . When an insulative material as a quartz glass substrate is used as a single supporting substrate, from the requirement to keep the mechanical strength thereof, sufficient thickness in comparison with normal laser absorption thickness is selected. The value is normally 0.3 mm ~ 5.0 mm, preferably 0.5 mm ~ 2.0 mm. The silicon layer 2 that is monocrystallized on the supporting substrate 1 by 2-wave length zone melting recrystallization method comprises polycrystal silicon or noncrystal silicon. This silicon layer 2 is formed by various film formation methods such as plasma CVD method, heat CVD method, optical CVD method, LP-CVD method, MO-CVD method, sputtering method, vacuum deposition method, ion beam cluster formation method and so forth, and various methods for improving materials such as ion implementation method. And when it is judged necessary in the process of zone melting recrystallization, this silicon layer 2 may be processed into optional shape by use of normal photolithography. Concretely, it may be formed in spot shape or continued spot shape or stripe shape as

shown in FIG.5, FIG.6 and FIG.7, and the purpose of these shapes are to control movement of silicon melted liquid on the supporting substrate 1, and thereby to improve stability of faucet growth, and this method has been often used in conventional zone melting recrystallization method. The processing of the silicon layer 2 contributes to improvement of uniform film thickness of a monocrystal silicon layer obtained by monocrystallization, however, it does not determine orientation. The film thickness  $0.1\ \mu\text{m} \sim 5.0\ \mu\text{m}$  of the silicon layer 2 may be used in recrystallization, preferably  $0.3\ \mu\text{m} \sim 1.0\ \mu\text{m}$ . A surface protective film 3 is indispensable for formation of monocrystal silicon thin film by zone melting recrystallization method. This is formed for the purpose of preventing bead up phenomenon of melted silicon owing to evaporation or surface tension in the process of zone melting recrystallization. This surface protective layer 3 comprises insulative material, preferably,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiN}$ , and these are formed singly or in combination into silicon layer 2. As the methods for formation of the surface protective film 3, there are various film formation methods such as plasma CVD method, heat CVD method, optical CVD method, LP-CVD method, MO-CVD method, sputtering method, vacuum deposition method, ion beam cluster formation method and so forth, and various



methods for improving materials such as ion implementation method. The film thickness is optimized at  $0.5\ \mu\text{m} \sim 5.0\ \mu\text{m}$ , preferably  $1.0\ \mu\text{m} \sim 2.0\ \mu\text{m}$ . This surface protective layer 3 may be removed in a process to form a semiconductor element with a thin film semiconductor device according to the present invention as raw material.

[0011]

As the first laser beam in the 2-wave length zone melting recrystallization method under the present invention, laser beam that outputs beam of wave length at absorption area in silicon (roughly short wave length side than  $1.2\ \mu\text{m}$ ) may be used widely. Concretely, various kinds of excimer laser, He-Cd laser, Ar laser, He-Ne laser, ruby laser, alexandrite laser, YAG laser or semiconductor laser of short wave length range may be used. From the view as a heat source to form temperature profile necessary for zone melting recrystallization, it is preferable that output is relatively large and continuous oscillation is available, therefore, it is preferable to select from Ar laser, YAG laser, or high output semiconductor laser. In these laser beams, in order to widen radiation area, a laser expander may be inserted in the course of beam and enlarge beam, and further, plural laser beams may be used in combination. As a beam shape in the case of radiation onto silicon layer, linear beam is preferable for realization of zone melting

recrystallization method. It is possible to make beam shape uniform in linear by use of various optical apparatuses. And as mentioned previously, it is possible to form a uniform linear beam by plural beams. And further, it is possible to form linear beam similarly by high speed scanning of beam. As the second laser beam to be used for preliminary heating of substrate, laser beam having absorption into insulative material may be used widely. Laser beam in infrared range is well absorbed in insulative material, so it is suitable as the second laser beam. Concretely, carbon dioxide gas laser or carbon monoxide gas laser may be employed. The beam shape of the second laser beam is not necessarily linear. In the case of radiation on the above first laser beam, the beam shape may be have a size enough to control heat profile of recrystallization of silicon when melted by heating of the first laser, and as shown in FIG.14, when the length of the first laser beam formed in linear is  $L_1$ , the length  $L_2$  of the second laser in this direction is necessary to be  $L_2 > L_1$ , and preferably  $L_2 > 1.2 L_1$ . By the way, laser beam is normally obtained round, but it may be made into thin oval shape or substantially rectangular shape by use of various means.

[0012]

The second laser along with the first laser beam is used as heat source for zone melting recrystallization of silicon

layer, however, the heating by the first laser beam is mainly for melting silicon, while heating by the second silicon is for controlling cooling and solidifying recrystallization process of melted silicon. Therefore, it is necessary to make the area heated by the second laser beam show a uniform temperature profile. For that purpose, the beam of the second laser beam must have a wider and more uniform power density than the beam of the first laser beam. It is possible to make beam output flat by use of various optical apparatuses such as a kaleidoscope, segment mirror and so forth. And in the same manner as in the case of the above first laser beam, plural laser beams may be used to form a flat synthetic beam. And it is possible to make the temperature profile of heating portion flat by scanning beam. And as these laser beams, besides laser beams of continuous oscillating type, laser beams of pulse oscillating type may be also used. In this manner, the beam of the second laser beam is radiated onto a substrate in arrangement where the beam of the second laser beam almost covers the beam of the second laser beam, but at place near the external circumference of the beam of the second laser beam, even if beam intensity is uniform, temperature curve may occur owing to large temperature difference between beam inside and beam outside. In such a case, it is possible to make temperature flat by use of beam profile where the

external circumference of beam is enhanced.

[0013]

The first laser beam and the second laser beam to be used in the 2-wave length zone melting recrystallization method must have the above structure and the intensity of respective laser beams must be modulated according to the temperature changes at radiation position. The present invention is to control and obtain recrystallized film of monocrystal silicon having different orientation surfaces of (100) plane and (111) plane by the zone melting recrystallization method. The mechanism wherein recrystallized film having different orientation surfaces is obtained in the 2-wave length laser zone melting recrystallization method ~~has~~ been described previously. In order to realize a melting recrystallization temperature profile such as temperature curve as to determine facet surface inclination of solid liquid boundary or temperature range of melted silicon, it is necessary to control the output of laser beam to be radiated. For heat amount generated by absorption of the first laser beam or the second laser beam varies with various factors such as film thickness of absorption layer, reflection ratio of surface and so forth. Therefore, in order to control temperature profile stably through the zone melting recrystallization process, it is needed to control feedback of light

intensity. Further, because of the reason mentioned formerly, in order to control orientation, required is control of temperature profile. As such a feedback control of laser beam intensity, as shown in FIG.15, there is a method wherein temperature data of radiation portion is taken into a laser power source circuit as return signal and laser output is controlled. Or a method is also available wherein a mechanism to continuously change light intensity by external signal is arranged between a laser oscillator and a sample and this mechanism is controlled according to temperature changes of radiation portion. As a mechanism to continuously change light intensity, for example, a combination of two deflecting plates may be employed. The method for radiating the first and second laser beams having light output feedback control mechanism has no specific restrictions so long as heat profile as shown in FIG.9 is formed by radiation of two laser beams on substrate and the zone melting recrystallization is realized. And further, as for heat profile shown in FIG.9, since the process from melted status to solidification is important in the zone melting recrystallization, what is important in the zone melting recrystallization is the process from melted status to solidification, so there is no need for heat profile to be symmetrical in beam scanning direction. Preferred embodiments of the present invention are described in detail

hereinafter.

[0014]

[Description of Preferred Embodiments]

[Preferred Embodiment 1] (TFT having a monocrystal layer including areas having different crystal orientation surfaces)

In the present preferred embodiment, Ar laser beam was used as the first laser beam, and carbon dioxide gas laser beam was used as the second laser beam. As shown in FIG.17, Ar laser beam 51 from an Ar laser oscillator 27 was of beam diameter 1.9 mm and used in multiple line oscillating status, and a convex lens 26 was arranged so as to focus on a sample 21 in order to form a linear beam shape, and further a mirror 28 equipped with a vibrating mechanism 27 was arranged between the convex lens 26 and the sample 21, and beam spot was vibrated on the sample 21 in the direction to cross with laser beam scanning direction, and a linear heat profile was formed on the sample 21. As for carbon dioxide gas laser beam, four units of carbon dioxide gas laser oscillators 35, 36, 37 and 38 were used, and guided to the sample 21 via mirrors 31, 32, 33, and 34. The beam diameter of carbon dioxide laser beam was 5 mm. The Ar laser beam 51 controls a laser power source 23 by a temperature detecting portion 29 comprising a radiant thermometer and a feedback control portion 24, and the output thereof is

controlled so that temperature of measuring portion is kept constant through beam scanning. And as same with Ar laser beam 51, as for carbon dioxide laser beams 52, 53, 54, and 55, laser power sources 39, 40, 41, and 42 are controlled via a temperature detecting portion 30 comprising radiant thermometer and a feedback control portion 43. A substrate wherein recrystallized film is formed is made as shown below. In FIG.13, as the supporting substrate 1, a transparent quartz glass substrate of thickness 1.0 mm was used. This glass supporting substrate 1 was washed in normal method, and was made into a silicon layer 2 to be monocrystallized by the zone melting recrystallization method using a low pressure chemical vapor development apparatus (LPCVD), and a polycrystal-silicon thin film was formed. The film thickness is 3500Å. Then the polycrystal silicon thin film 2 was processed into stripes of width 100  $\mu\text{m}$  with stripe interval 100  $\mu\text{m}$  by photolithography method as shown in FIG.5. Thereafter, on this polycrystal silicon in stripe shape,  $\text{SiO}_2$  thin film 3 was formed in thickness 1.2  $\mu\text{m}$  as a surface protective layer at the zone melting recrystallization. The polycrystal silicon thin film sample formed as above is radiated by the above Ar laser beam (the first laser beam) and carbon dioxide gas laser beam (the second laser beam) at the same time, and monocrystallized by

the zone melting recrystallization method. The arrangement of the first laser beam and the second laser beam is as shown below. Ar laser beam 51 was vibrated by use of a mirror 28 so as to cross with polycrystal silicon stripe at right angle. The vibration frequency of the mirror at that moment was set 1 kHz. And the amplitude of the mirror was set so that the vibration width of beam of Ar laser beam 51 should be 1 mm on silicon layer. Four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55 from four carbon dioxide gas laser oscillators 35, 36, 37 and 38 were arranged at beam interval 3 mm so as to cover the radiation position of linear Ar laser beam 51 as shown in FIG.18. (FIG.18 is a concrete example wherein relations in FIG.14 are satisfied.) When the output of Ar laser beam 51 is made constant at 2.0 W, and beam is vibrated and the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 is increased, and silicon layer at the position radiated by the vibrating Ar laser beam 51 is melted. In this status, heat profile for zone melting recrystallization as shown in FIG.9 is realized on the substrate 1. Thereafter, when the sample 21 is moved by sample moving mechanism arranged at stage 25 so that Ar laser beam crosses with polycrystal silicon stripe 9 at right angle, the melted area 8 of silicon at radiation portion of Ar laser beam 51 expands to the downstream side in scanning direction along with relative scanning of laser



beam on the sample 21, and discharges heat to outside of the circumference guarded thermally by four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55, and carries out cooling solidification recrystallization, and becomes a monocrystal stripe of width 100  $\mu\text{m}$ . The expansion of silicon melted portion to downstream side varies with movement speed of sample, output of carbon dioxide gas laser beam and so forth, but when the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was 30 W and movement speed of sample 21 was 1 mm/s, the expansion of melted silicon to downstream side was about 1 mm. Thereafter, the temperature of melted liquid of silicon of radiation portion of Ar laser beam 51 was detected by temperature detecting portion 29 (measuring point A), and the output of Ar laser beam 51 was controlled so that temperature should be constant by the above control method, further, the temperature of a position at 500  $\mu\text{m}$  far below from solid portion of silicon melted liquid expanding to downstream side along with scanning of sample 21 was detected by the temperature detecting portion 30 (measuring point B), and in the same manner, the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was controlled so that temperature should be constant by the above control method. In this way, by controlling the temperatures at the measuring points A and B constant, it was possible to obtain stable recrystallized film over

scanning of laser beams on substrate. Further, when the temperatures at the measuring points A and B were set to the range shown in TABLE 1, the orientation surfaces of monocrystal silicon obtained by scanning laser beam on the substrate were of (100) plane orientation and (111) plane orientation. By repetition of the above operation, orientation was controlled by the 2-wave length laser zone melting recrystallization method, and polycrystal silicon stripe on the substrate 1 was monocrystallized. Thereafter, SiO<sub>2</sub> thin film 3 on the surface protective layer 3 was etched and removed by cushion fluoro oxide solution. Thus a thin film semiconductor device according to the present invention was completed.

[TABLE 1]

|   | Orientation of recrystallized<br>silicon film |                            |
|---|---|----------------------------|
|   | (100) plane<br>orientation                    | (111) plane<br>orientation |
| Temperature range at<br>measuring point A | 1423 ~ 1427                                   | 1432 ~ 1438                |
| Temperature range at<br>measuring point B | 1345 ~ 1350                                   | 1325 ~ 1330                |

[0015]

[Preferred Embodiment 2]

Further, an applied preferred embodiment is shown wherein a thin film semiconductor device according to

preferred embodiment is used. By use of a method disclosed in the present invention, a recrystallized film having (111) plane orientation and a recrystallized film having (100) plane orientation were formed adjacent to each other. On the recrystallized film having (111) plane orientation, row of PIN photo diode of light taking area (pixel are)  $100\ \mu \times 100\ \mu$  was formed at pitch  $125\ \mu$ . While on the recrystallized film having (100) plane orientation, formed was a switch comprising MOS type electric field effect transistor for taking out signal in correspondence to each of raw of the above PIN photo diode. This switch row converts optical signal of the above PIN photo diode into time-oriented electric signal by opening and closing operation by clock signal from external side. In this manner, a one-dimensional optical sensor array (density 8 pieces/mm) was completed by use of a thin film semiconductor device according to the present invention.

[0016]

[Preferred Embodiment 3] (TFT having monocrystal area and polycrystal area)

A preferred embodiment according to the present invention is explained in reference to FIG.17. In the present preferred embodiment, Ar laser beam was used as the first laser beam, and carbon dioxide gas laser beam was used as the second laser beam. Ar laser beam 51 was of beam

diameter 1.9 mm and used in multiple line oscillating status, and a convex lens 26 was arranged so as to focus on a sample 21 in order to form a linear beam shape, and further a mirror 28 equipped with a vibrating mechanism 27 was arranged between the convex lens 26 and the sample 21, and beam spot was vibrated on the sample 21 in the direction to cross with laser beam scanning direction, and a linear heat profile was formed on the sample 21. As for carbon dioxide gas laser beam, four units of carbon dioxide gas laser oscillators 35, 36, 37 and 38 were used, and guided to the sample 21 via mirrors 31, 32, 33, and 34. The beam diameter of carbon dioxide laser beam was 5 mm. The Ar laser beam 51 controls a laser power source 23 by a temperature detecting portion 29 comprising a radiant thermometer and a feedback control portion 24, and the output thereof is controlled so that temperature of measuring portion is kept constant through beam scanning. And as same with Ar laser beam, as for carbon dioxide laser beams, laser power sources 39, 40, 41, and 42 are controlled via a temperature detecting portion 29 comprising radiant thermometer and a feedback control portion 24. A substrate wherein recrystallized film is formed is made as shown below. In FIG.13, as the supporting substrate 1, a transparent quartz glass substrate of thickness 1.0 mm was used. This glass supporting substrate was washed in normal method, and was

made into a silicon layer 2 to be monocrystallized by the zone melting recrystallization method using a low pressure chemical vapor development apparatus (LPCVD), and a polycrystal silicon thin film was formed. The film thickness is 4000A. SiO<sub>2</sub> thin film 3 was formed in thickness 2.0  $\mu\text{m}$  on polycrystal silicon as a surface protective layer at the zone melting recrystallization by use of an LPCVD device. The polycrystal silicon thin film sample formed as above is radiated by the above Ar laser beam (the first laser beam) and carbon dioxide gas laser beam (the second laser beam) at the same time, and monocrystallized by the zone melting recrystallization method. And at area where polycrystal is required, Ar laser beam and carbon dioxide gas laser beam are arranged not to radiate. Thereby, area of monocrystal and area of polycrystal may be formed selectively. The arrangement of the first laser beam and the second laser beam is as shown below. Ar laser beam 51 was vibrated by use of a mirror 28 so as to cross with scanning direction at right angle. The vibration frequency of the mirror at that moment was set 1 kHz. And the amplitude of the mirror was set so that the vibration width of beam of Ar laser beam 51 should be 1 mm on silicon layer. Four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55 were arranged at beam interval 3 mm so as to cover the radiation position of

linear Ar laser beam 51 as shown in FIG.18. When the output of Ar laser beam 51 is made constant at 2.0 W, and beam is vibrated and the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 is increased, and silicon layer at the position radiated by the vibrating Ar laser beam 51 is melted. In this status, heat profile for zone melting recrystallization as shown in FIG.9 is realized on the substrate 1. Thereafter, when the sample 21 is moved by sample moving mechanism arranged at stage 25, the melted area of silicon at radiation portion of Ar laser beam 51 expands to the downstream side in scanning direction along with relative scanning of laser beam on the sample 21, and discharges heat to outside of the circumference guarded thermally by four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55, and carries out cooling solidification recrystallization, and is monocrystallized. The expansion of silicon melted portion to downstream side varies with movement speed of sample, output of carbon dioxide gas laser beam and so forth, but when the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was 30 W, the expansion of melted silicon to downstream side was about 1 mm. Thereafter, the temperature of melted liquid of silicon of radiation portion of Ar laser beam 51 was detected by temperature detecting portion 29 (measuring point A44 in FIG.19), and the output of Ar laser beam 51 was controlled

so that temperature should be constant by the above control method, further, the temperature of a position at 500  $\mu\text{m}$  far below from solid portion of silicon melted liquid expanding to downstream side along with scanning of sample 21 was detected by the temperature detecting portion 30 (measuring point B45 in FIG.19), and in the same manner, the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was controlled so that temperature should be constant by the above control method. In this way, by controlling the temperatures at the measuring points A44 and B45 constant, it was possible to obtain stable recrystallized film over scanning of laser beams on substrate. Further, when the temperatures at the measuring points A44 and B45 were set to the range shown in TABLE 1, the orientation surfaces of monocrystal silicon obtained by scanning laser beam on the substrate were of (100) plane orientation and (111) plane orientation. And at area wherein polycrystal is required, it was set that CO<sub>2</sub> laser beams 52, 53, 54, and 55 were not radiated by use of Ar laser 51 and four CO<sub>2</sub> laser oscillators. By repetition of the above operation, orientation was controlled by the 2-wave length laser zone melting recrystallization method, and monocrystal silicon and polycrystal silicon having orientation surfaces controlled to (100) plane and (111) plane were formed on the

substrate 1. By the way, FIG.19 shows that when a thin film semiconductor device of the present invention is formed in the laser beam arrangement shown in FIG.18, silicon melted area keeps its melted status and expands backward even after radiation of the first laser beam. Thereafter, SiO<sub>2</sub> thin film 3 on the surface protective layer 3 was etched and removed by cushion fluoro oxide solution. Thus a thin film semiconductor device according to the present invention was completed.

[0017]

[Preferred Embodiment 4] (TFT having monocrystal area and polycrystal area)

Explanation is made in reference to FIG.21. The present preferred embodiment is an applied one using a thin film semiconductor device of the Preferred Embodiment 3. On a transparent quartz glass substrate, by use of a method of the present invention, a recrystallized film 61 having (111) plane orientation and a recrystallized film 62 having (100) plane orientation were formed adjacent to each other, and a polycrystal silicon 63 was formed between the above films. Thereafter, by use of normal semiconductor process, row 64 of PIN photo diode of light taking area (pixel are ) 100  $\mu$  x 100  $\mu$  was formed at pitch 125  $\mu$  on the recrystallized film 61 having (111) plane orientation. While on the



recrystallized film 62 having (100) plane orientation, formed was a switch 65 comprising MOS type FET for taking out signal in correspondence to each of row of the above PIN photo diode. Wiring 66 was carried out by polycrystal silicon on the electrical connection between the above FET 65 and the above PIN photo diode row 64. This polycrystal silicon is sufficiently diffused in impurity diffusion process during semiconductor process. In this diffusion process, polycrystal silicon 67 of gate electrode of MOS type transistor is diffused at the same time. The switch row of MOS type FET converts optical signal of the above PIN photo diode into time-oriented electric signal by opening and closing operation by clock signal from external side. In this manner, by use of a thin film semiconductor device according to the present invention, a one-dimensional optical sensor array (density 8 pieces/mm) with fewer metallic wiring was completed.

[0018]

[Preferred Embodiment 5]

A structure of the present preferred embodiment is explained in reference to FIG.17. In the present preferred embodiment, Ar laser beam was used as the first laser beam, and carbon dioxide gas laser beam was used as the second laser beam. Ar laser beam 51 was of beam diameter 1.9 mm and used in multiple line oscillating status, and a convex lens

26 was arranged so as to focus on a sample 21 in order to form a linear beam shape, and further a mirror 28 equipped with a vibrating mechanism 27 was arranged between the convex lens 26 and the sample 21, and beam spot was vibrated on the sample 21 in the direction to cross with laser beam scanning direction, and a linear heat profile was formed on the sample 21. As for carbon dioxide gas laser beam, four units of carbon dioxide gas laser oscillators 35, 36, 37 and 38 were used, and guided to the sample 21 via mirrors 31, 32, 33, and 34. The beam diameter of carbon dioxide laser beam was 5 mm. The Ar laser beam 51 controls a laser power source 23 by a temperature detecting portion 29 comprising a radiant thermometer and a feedback control portion 24, and the output thereof is controlled so that temperature of measuring portion is kept constant through beam scanning. And as same with Ar laser beam, as for carbon dioxide laser beams, laser power sources 39, 40, 41, and 42 are controlled via a temperature detecting portion 30 comprising radiant thermometer and a feedback control portion 43. In FIG.13, as the supporting substrate 1, a transparent quartz glass substrate of thickness 1.6 mm was used. This glass supporting substrate was washed in normal method, and was made into a noncrystal silicon thin film as a silicon layer 2 to be monocrystallized by the zone melting recrystallization method using a spattering apparatus. The

film thickness is 3500Å. Hydrogen content ratio was 0.8 atom% by IR spectral analysis. Thereafter, SiO<sub>2</sub> thin film was formed in thickness 1.5 μm on noncrystal silicon as a surface protective layer 3 at the zone melting recrystallization by use of an LPCVD device. The noncrystal silicon thin film sample formed as above is radiated by the above Ar laser beam (the first laser beam) and carbon dioxide gas laser beam (the second laser beam) at the same time, and monocrystallized by the zone melting recrystallization method. The arrangement of the first laser beam and the second laser beam is as shown below. Ar laser beam 51 was vibrated by use of a mirror 28 so as to cross with sample moving direction at right angle. The vibration frequency of the mirror at that moment was set 1 kHz. And the amplitude of the mirror was set so that the vibration width of beam of Ar laser beam 51 should be 1 mm on silicon layer. Four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55 were arranged at beam interval 3 mm so as to cover the radiation position of linear Ar laser beam 51 as shown in FIG.18. When the output of Ar laser beam 51 is made constant at 2.0 W, and beam is vibrated and the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 is increased, and silicon layer at the position radiated by the vibrating Ar laser beam 51 is melted. In this status, heat profile for

zone melting recrystallization as shown in FIG.9 is realized on the substrate 1. And further, when the sample 21 is moved by sample moving mechanism arranged at stage 25, the melted area of silicon at radiation portion of Ar laser beam 51 expands to the downstream side in scanning direction along with relative scanning of laser beam on the sample 21, and discharges heat to outside of the circumference guarded thermally by four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54, and 55, and carries out cooling solidification recrystallization, and monocrystal silicon area of stripe shape of width 500  $\mu\text{m}$  is formed. The expansion of silicon melted portion to downstream side varies with movement speed of sample, output of carbon dioxide gas laser beam and so forth, but when the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was 30 W and movement speed of sample 21 was 1 mm/s, the expansion of melted silicon to downstream side was about 1 mm. At this moment, the temperature of melted liquid of silicon of radiation portion of Ar laser beam 51 was detected by temperature detecting portion 29 (measuring point A shown by 44) as shown in FIG.19, and the output of Ar laser beam 51 was controlled so that temperature should be constant by the above control method, further, the temperature of a position at 500  $\mu\text{m}$  far below from solid portion of silicon melted liquid expanding to downstream side along with scanning of sample 21 was

detected by the temperature detecting portion 30 (measuring point B shown by 45), and in the same manner, the output of four carbon dioxide gas laser beams 52, 53, 54 and 55 was controlled so that temperature should be constant by the above control method. In this way, by controlling the temperatures at the measuring points A and B constant, it was possible to obtain stable recrystallized film over scanning of laser beams on substrate. Further, the temperature range of the measuring point A was made 1420°C ~ 1430°C, and the temperature range of the measuring point B was set 1330°C ~ 1340°C, a monocrystal silicon area where there was little sub grain boundary shown in FIG.12 was formed. Thereafter, SiO<sub>2</sub> thin film on the surface protective layer 3 was etched and removed by cushion fluoro oxide solution. Thus a thin film semiconductor device according to the present invention was completed.

[0019]

[Preferred Embodiment 6]

In the next place, explained is an applied preferred embodiment wherein a thin film semiconductor device according to Preferred Embodiment 5 is used. By use of a method disclosed in the present invention, a noncrystal silicon thin film and a monocrystal silicon thin film were formed on a single surface. And on the noncrystal silicon

thin film, after plasma hydrogen processing, row of a-Si:H photo diode of light taking area (pixel are )  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  was formed at pitch  $125\text{ }\mu\text{m}$ . And on the monocrystal silicon thin film, formed was a switch comprising MOS type electric field effect transistor for taking out signal in correspondence to each of row of the above PIN photo diode. This switch row converts optical signal of the above PIN photo diode into time-oriented electric signal by opening and closing operation by clock signal from external side. In this manner, a one-dimensional optical sensor array (density 8 pieces/mm) was completed by use of a thin film semiconductor device according to the present invention.

[0020]

[Comparative Embodiment 7]

On a transparent quartz glass substrate similar to that in the Preferred Embodiment 5, formed was a noncrystal silicon layer by LP-CVD method, the film thickness thereof was  $3400\text{ }\text{\AA}$ , and the hydrogen content ratio was 5 atom% by IR spectral. And  $\text{SiO}_2$  thin film was formed in thickness  $1.5\text{ }\mu\text{m}$  on the noncrystal silicon layer by LP-CVD method. And the noncrystal silicon thin film raw material substrate formed as above was under zone melting recrystallization in the same method as in the Preferred Embodiment 5, and a great number of voids occurred in recrystallized film, and there

was not any substrate available for device formation.

[0021]

[Effect of the Invention]

According to the present invention, a thin film semiconductor device of an innovative type wherein specific areas on a single semiconductor layer have different crystal orientation surfaces and/or different crystal conditions per area has been provided. According to the present invention, wherein it is possible to optionally form crystal orientation surfaces, or areas having crystal property suitable for purposes and applications on a single substrate, it is possible to help wide range of device design, manufacturing processes, and also it is possible to provide high performance devices.

[Brief Description of the Drawings]

FIG.1 is a schematic diagram showing polycrystallization owing to temperature distribution in melting recrystallization.

FIG.2 is a schematic diagram showing monocrystallization owing to temperature distribution in melting recrystallization.

FIG.3 (a) is a preferable temperature distribution of a silicon thin film in the direction (arrow mark) of recrystallization, wherein portion at temperature exceeding the silicon melting point  $1412^{\circ}\text{C}$  is under melting

recrystallization. FIG.3 (b) is a schematic diagram of a thin film semiconductor device comprising insulative substrate having silicon thin film layer and 8 shows silicon melted portion.

FIG.4 is a diagram showing a solid - liquid boundary of melted silicon.

FIG.5 is a plane view of a thin film semiconductor device wherein the shape of silicon layer arranged on an insulative substrate is of stripe shape.

FIG.6 is a plane view of a thin film semiconductor device wherein the shape of silicon layer arranged on an insulative substrate is of spot shape.

FIG.7 is a plane view of a thin film semiconductor device wherein the shape of silicon layer arranged on an insulative substrate is of continued spot shape.

FIG.8 is a cross section of a thin film semiconductor showing the status of the zone melting recrystallization under the present invention.

FIG.9 is a temperature profile of heated areas by two kinds of laser beam under the present invention.

FIG.10 is a diagram showing X-ray peak of recrystallized film under the present invention.

FIG.11 (a) shows a facet surface angle of (100) crystal orientation surface.

FIG.11 (b) shows a facet surface angle of (111) crystal



orientation surface.

FIG.12 is a schematic diagram showing generation of temperature profile and sub grain boundary at melting recrystallization of silicon layer.

FIG.13 is a cross section of a thin film semiconductor device according to the present invention.

FIG.14 is a diagram showing a preferable relative position relation of the first laser beam and the second laser beam that enables 2-wave length zone melting recrystallization method used in a thin film semiconductor device according to the present invention.

FIG.15 is one example of a feedback system of laser beam intensity.

FIG.16 is another example of a feedback system of laser beam intensity.

FIG.17 shows a laser radiation system in a preferred embodiment according to the present invention.

FIG.18 shows an example of combination radiation of the first laser and the second laser.

FIG.19 is a schematic diagram showing zone melting recrystallization carried out by arrangement of laser beam in a preferred embodiment according to the present invention.

FIG.20 is a schematic diagram of zone melting method using a linear heater.

FIG.21 (a) is a plane view of a thin film semiconductor device used in the preferred embodiment 5 under the present invention.

FIG.21 (b) is a schematic diagram of an optical sensor array in the preferred embodiment 4 obtained by processing the above (a).

[Descriptions of Codes]

- 1 Insulative substrate
- 2 Semiconductor layer (silicon layer)
- 3 Surface protective layer
- 4 First laser beam
- 5 Second laser beam
- 8 Melted area
- 11 Insulative substrate
- 12 Laser oscillator
- 13 Laser power source
- 14 Feedback control portion
- 15 Temperature detecting portion
- 16 Optical modulation portion
- 21 Sample
- 22 Ar laser oscillator
- 23 Ar laser power source
- 24 Ar laser feedback control portion
- 25 Stage
- 26 Convex lens

- 27 Mirror vibrating mechanism
- 28 Ar laser mirror
- 29 Ar laser temperature detecting portion
- 30 Carbon dioxide gas laser temperature detecting portion
- 31 Carbon dioxide gas laser mirror detecting portion
- 32 Carbon dioxide gas laser mirror detecting portion
- 33 Carbon dioxide gas laser mirror detecting portion
- 34 Carbon dioxide gas laser mirror detecting portion
- 35 Carbon dioxide gas laser oscillator
- 36 Carbon dioxide gas laser oscillator
- 37 Carbon dioxide gas laser oscillator
- 38 Carbon dioxide gas laser oscillator
- 39 Carbon dioxide gas laser power source
- 40 Carbon dioxide gas laser power source
- 41 Carbon dioxide gas laser power source
- 42 Carbon dioxide gas laser power source
- 43 Carbon dioxide gas laser feedback control portion
- 44 Temperature measuring point A
- 45 Temperature measuring point B
- 46 Melted area
- 51 Ar laser beam
- 52 Carbon dioxide gas laser beam
- 53 Carbon dioxide gas laser beam
- 54 Carbon dioxide gas laser beam
- 55 Carbon dioxide gas laser beam

61 Recrystallized area having (111) plane orientation

62 Recrystallized area having (100) plane orientation

63 Polycrystal silicon area

[FIG.1] Polycrystal (low) Temperature (high)

[FIG.2] Polycrystal Monocrystal Polycrystal  
(low) Temperature (high)

[FIG.3] Temperature Position

[FIG.4] Solid body (monocrystal) Excessively cooled  
areaMelted area

[FIG.5] [FIG.6] [FIG.7] [FIG.8]

[FIG.9] Temperature

[FIG.10] X-ray peak of recrystallized film  
Temperature

[FIG.11] (a) Surface (100) plane orientation  
Faucet Solid Liquid Substrate  
(b) Surface (111) plane orientation  
Faucet Solid Liquid Substrate

[FIG.12] Scanning direction Temperature profile A  
Temperature profile B

Melting point

Temperature

Melted area Excessively cooled area

Sub grain boundary

Melting width Liquid phaseSolid phase

(111) faucet

[FIG.13]      [FIG.14]      [FIG.15]      [FIG.16]      [FIG.17]  
[FIG.18]      [FIG.19]      [FIG.20]      [FIG.21]

[Procedure Correction]

[Date of Submission]                  June 21, 1991

[Procedure Correction 1]

[Title of Document to be Corrected]   Drawing

[Title of Item to be Corrected]        FIG.7

[Correction Method]                    Modification

[Content of Correction]

[FIG.7]

Continued from the front page

Inventor :      Mimoru Irinoda

Ricoh Applied Electronics Research

Institute Co., Ltd.

5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo

Natori-shi, Miyagi-ken, Japan

Inventor :      Koichi Otaka

Ricoh Applied Electronics Research

Institute Co., Ltd.

5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo

Natori-shi, Miyagi-ken, Japan

Inventor : Takeru Hino  
Ricoh Applied Electronics Research  
Institute Co., Ltd.  
5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo  
Natori-shi, Miyagi-ken, Japan

Inventor : Katsufumi Kumano  
Ricoh Applied Electronics Research  
Institute Co., Ltd.  
5-10, Aza-yokata-ue, Takadate-kumanodo  
Natori-shi, Miyagi-ken, Japan